

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ**

**NATHAN DAMAS ANTONIO**

**UMA ABORDAGEM METODOLÓGICA PARA REPRESENTAR OBJETOS  
TERRITORIAIS EM UM SISTEMA CADASTRAL 3D**

**CURITIBA**

**2015**

**NATHAN DAMAS ANTONIO**

**UMA ABORDAGEM METODOLÓGICA PARA REPRESENTAR OBJETOS  
TERRITORIAIS EM UM SISTEMA CADASTRAL 3D**

**Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Área de concentração Fotogrametria e Sensoriamento Remoto, Departamento de Geomática, Setor de Ciências da Terra, da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciências Geodésicas.**

**Orientador: Prof. Dr. Alzir F. B. Antunes**

**CURITIBA**

**2015**

---

AN635a      Antonio, Nathan Damas  
                 Uma abordagem metodológica para representar objetos territoriais em um cadastro 3D / Nathan  
                 Damas Antonio. – Curitiba, 2015.  
                 108 f. : il. color. ; 30 cm.

Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, 2015.

Orientador: Alzir F. B Antunes.

1. Cadastro 3D. 2. Propriedade 3D. 3. Sistemas de Informação Territorial 3D. 4. Multipatch.  
I. Universidade Federal do Paraná. II. Antunes, Alzir F. B. III. Título.

CDD: 526.1

---

## TERMO DE APROVAÇÃO

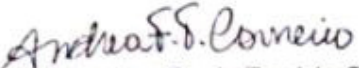
NATHAN DAMAS ANTONIO


"UMA ABORDAGEM METODOLÓGICA PARA REPRESENTAR OBJETOS  
TERRITORIAIS EM UM SISTEMA CADASTRAL 3D"

Dissertação nº 290 aprovada como requisito parcial do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da Terra da Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

Orientador:

  
Prof. Dr. Alzir Felipe Buffara Antunes  
Departamento de Geomática, UFPR

  
Profª. Drª. Andrea Flavia Tenório Carneiro  
Universidade Federal de Pernambuco, UFPE

  
Profª. Drª. Silvana Philippi Camboim  
Departamento de Geomática, UFPR

Curitiba, 31 de agosto de 2015.

Dedico este trabalho a quem sempre me deu amor, incentivo e educação,

aos meus amados pais, Floriza e Osvaldo, que tanto fazem e fizeram para que eu alcançasse meus objetivos e por estar onde estou. À outra significativa, que me mostrou e mostra como é ser amado, querido e benquisto, minha profunda e mais sincera gratidão, por todo apoio, ajuda, compreensão e amizade.

## **AGRADECIMENTOS**

À minha família, Osvaldo, Floriza e Nathália simplesmente, pelo amor e compreensão.

À Fabiola, minha mais que, querida amiga e companheira por me mostrar como é se ter amor, amizade, parceria e companheirismo, tudo em uma só pessoa, além do que jamais poderia pensar em encontrar.

A todos os meus familiares, pela presença e pelo carinho a mim dirigidos.

Ao Seu Moisés e a Dona Iolanda, por me aceitarem e me acolherem como parte de sua família e me fazerem sentir em casa. À Clara, por me mostrar o quanto uma criança pode ser linda, carinhosa e amorosa.

Aos meus amigos que sempre se fizeram presentes, mesmo quando distantes, sempre dispostos a oferecer uma palavra e um ombro amigo.

Aos meus amigos de apartamento (“as véias”): Eduardo Chiarani, Everton Bortolini, Matheus Arsego e Willian Bortolini por dividirem diversas conversas e vários momentos de “maluquice” meus durante a realização dessa pesquisa.

Ao professor Alzir Felipe Buffara Antunes pela orientação, apoio, contribuições para o desenvolvimento dessa pesquisa e principalmente pelo incentivo e confiança em mim depositados.

Aos colegas do Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná, pelo apoio e suporte técnico e pelas infinitas conversas nas salas e corredores da universidade.

À Universidade Federal do Paraná e ao CPGCG que contribuíram com os meus conhecimentos de graduação e pós-graduação e pela oportunidade e a disponibilização de instalações e equipamentos, importantíssimos, para a realização desta pesquisa.

Ao órgão nacional de fomento CAPES, que apoiou o mestrado subsidiando os estudos e a pesquisa.

A todos que de alguma maneira, diretamente ou indiretamente, contribuíram para a realização dessa pesquisa.

*“Eu não inventei nada de novo. Simplesmente juntei as descobertas de outros homens, atrás dos quais existem séculos de trabalho. Se eu tivesse trabalhado cinquenta, dez ou até cinco anos antes, eu teria falhado. Assim é com cada coisa nova. O progresso acontece quando todos os fatores que contribuem para isso estão prontos, e então é inevitável. Ensinar que alguns poucos homens são responsáveis pelos maiores progressos da humanidade é o pior tipo de absurdo.”*

*Henry Ford*

## RESUMO

O tema Cadastro 3D e Propriedade 3D tem sido pesquisado durante a última década em diversos lugares do mundo, porém no Brasil as pesquisas começaram recentemente. Essa pesquisa tem o objetivo de apresentar uma abordagem metodológica para representar unidades de propriedade 3D em sistemas de informações territoriais. Isso será atingido utilizando o software de proprietário ArcGIS. Com o intuito de se obter conhecimento cristalino sobre as propriedades 3D e o direito de propriedade, um estudo envolvendo suas definições foi realizado. São apresentados métodos de modelagem de sólidos. A priori foram selecionados três casos de estudo, porém somente um foi escolhido para a realização do experimento, com base em sua importância econômica, comercial, histórica e cultural. A metodologia utilizada baseou-se na interoperabilidade dos softwares ArcGIS e Trimble SketchUP considerando o formato de dados COLLADA. Este trabalho enfocou na estrutura Multipatch como sendo um método de para representar objetos 3D em sistemas de informações territoriais e sistemas de informações geográficas. A estrutura de representação geográfica Multipatch utiliza o método de modelagem de sólidos representação por borda (b-rep). Os resultados mostram que a estrutura Multipatch não é a solução para todos os problemas dentro dos sistemas de informações geográficas 3D, porém é solução para alguns dos problemas. Ainda é necessário a realização de mais pesquisas dentro do campo do sistemas de informações territoriais e dentro do campo de sistemas de informações geográficas 3D, para mais desenvolvimento das capacidades de análises espaciais.

**Palavras chaves:** Cadastro 3D, Propriedade 3D, Sistemas de Informação Territorial 3D, Multipatch.



## ABSTRACT

The themes of 3D and 3D Property Register has been researched over the past decade in many parts of the world, but in Brazil the research began recently. This research aims to present a methodological approach for representing 3D property units in land information systems. This will be achieved using the ArcGIS software owner. In order to obtain clear overview of 3D property and the right to property, a literature study of their definitions was carried out. In principle we selected three case studies, but only for the experiment one was chosen based on its economic importance, commercial, historical and cultural. The methodology used was based on the interoperability of Trimble SketchUp and ArcGIS software considering the COLLADA data format. This work focused on multipatch structure as a method to represent 3D objects in land information systems and geographic information systems. The multipatch geographical representation structure uses the method of solid modeling representation b-rep. The result shows that MultiPatch is not an answer to all the problems within 3D GIS but a solution to some of the problems. It still requires a lot of research in the field land information system of 3D geographic information system, especially in development of spatial analysis capabilities.

**Keywords:** 3D Cadastre, 3D Property, Land Information Systems 3D, Multipatch.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - EXTENSÃO DO DIREITO DE PROPRIEDADE ATÉ O CENTRO DA TERRA .....	28
FIGURA 2 - PROPRIEDADE 2D E PROPRIEDADE 3D .....	28
FIGURA 3 - PRIMITIVAS GRÁFICAS EM UM SIT .....	41
FIGURA 4 – EXEMPLO DE REPRESENTAÇÃO EM 2,5D NOS SOFTWARES SIG	42
FIGURA 5 - PRIMITIVAS 3D PARA MODELAGEM DE OBJETOS ESPACIAIS 3D	44
FIGURA 6 - MATRIZ DE 4-INTERAÇÕES PARA RELAÇÕES ENTRE DUAS REGIÕES .....	47
FIGURA 7 - MATRIZ DE 9-INTERSEÇÕES PARA RELAÇÕES ENTRE DUAS REGIÕES .....	48
FIGURA 8 - MODELOS SÓLIDOS: REPRESENTAÇÃO POR BORDAS, GEOMETRIA CONSTRUTIVA SÓLIDA E REPRESENTAÇÃO POR VOLUME.....	49
FIGURA 9 - OBEJTO DEFINIDO PELO MODELO TOPOLÓGICO B-REP.....	50
FIGURA 10 - MODELAGEM GEOMÉTRICA POR FRONTEIRAS.....	51
FIGURA 11 - ESTRUTURA B-REP MODIFICADA PARA MÚLTIPLAS FEIÇÕES COMPARTILHANDO AS MESMAS PRIMITIVAS .....	52
FIGURA 12 - ÁRVORE DA GEOMETRIA CONSTRUTIVA SÓLIDA.....	54
FIGURA 13 - REPRESENTAÇÃO POR VOLUME TRANSLACIONAL E ROTACIONAL .....	55
FIGURA 14 - MAPA DA SITUAÇÃO DO CASO ESCOLHIDO .....	64
FIGURA 15 - LOCALIZAÇÃO DO SHOPPING MUELLER.....	65
FIGURA 16 - LOGRADOUROS LIMÍTRÓFES DO CASO ESCOLHIDO.....	65
FIGURA 17 - CONTRAPONTO ARQUITETÔNICOS ENTRE PRÉDIO HISTÓRICO E O NOVO PRÉDIO .....	67
FIGURA 18 - DETALHES TÉCNICOS DA PASSARELA SUSPENSA DO SHOPPING MUELLER.....	68
FIGURA 19 - EXEMPLO DE PACOTE NA FERRAMENTA ARGOCASEGEO .....	71
FIGURA 20 - ESTEREÓTIPOS DO MODELO UMLGEOFRAME .....	72
FIGURA 21 - FLUXOGRAMA DAS ETAPAS DESENVOLVIDAS .....	74
FIGURA 22 - ARQUIVO SAHPEFILE CEDIDO PELA PMC.....	75
FIGURA 23 - REGISTRO CADASTRAL DOS LOTES DO CASO SELECIONADO .	76

FIGURA 24 - FRAGMENTO DA MATRÍCULA 54.351 .....	77
FIGURA 25 - FRAGMENTO DA MATRÍCULA 48.028 .....	77
FIGURA 26 - AVERBAÇÃO 07 DA MATRÍCULA 48.028 .....	78
FIGURA 27 - FRAGMENTO DA OROTOFOTO UTILIZADA.....	79
FIGURA 28 - PROJEÇÃO ORTOGONAL DO SHOPPING MUELLER .....	79
FIGURA 29 - INTEROPERABILIDADE ARCGIS E SKETCHUP .....	80
FIGURA 30 - POLIGONOS EXTRUIDOS.....	81
FIGURA 31 - GEOMETRIAS COMPONENTES DA ESTRUTURA MULTIPATCH ..	83
FIGURA 32 - FAIXA DE TRIÂNGULOS DA ESTRUTURA MULTIPATCH.....	84
FIGURA 33 - LEQUE DE TRIÂNGULOS DA ESTRUTURA MULTIPATCH.....	84
FIGURA 34 - CONJUNTO DE TRIÂNGULOS DA ESTRUTURA MULTIPATCH .....	85
FIGURA 35 - ANÉIS NA ESTRUTURA MULTIPATCH .....	85
FIGURA 36 - ARQUIVOS GERADOS NO FORMATO COLLADA .....	86
FIGURA 37 - MODELO IMPORTADO NO SKETCHUP .....	87
FIGURA 38 - MODELO EDITADO FINAL .....	88
FIGURA 39 - MULTIPATCH ARMAZENADO COMO UM UNICO REGISTRO .....	90
FIGURA 40 - DIAGRAMA PARA OS RELACIONAMENTOS ENTRE OS OBJETOS 3D E AS PRIMITIVAS .....	92
FIGURA 41 - MODELO 3D NO ARCSCENE COM FEIÇÕES BIDIMENSIONAIS ...	94
FIGURA 42 - INSERÇÃO DE INFORMAÇÕES NA TABELA DE ATRIBUTOS .....	95
FIGURA 43 - TABELA RELACIONADA COM FEIÇÃO NO MODELO .....	96
FIGURA 44 - CONSULTA SQL UTILIZANDO O SELECT BY ATTRIBUTE.....	96

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - CATÁLOGO DE OPERAÇÕES GEOFRAME .....	73
---	----

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - DIMENSÕES DO MODELO ADOPTADAS NO SOFTWARE DE MODELAMENTO .....	88
--	----

## LISTA DE SIGLAS

2D – Duas dimensões

2,5D – Duas dimensões mais altitude

3D – Três Dimensões

BD - Banco de Dados

B-REP - Boundary Representation

BDE - Banco de Dados Espaciais

BDG - Banco de Dados Geográficos

BDOR - Bancos de Dados Objeto-Relacional

CAD - Desenho Assistido por Computador

COLLADA - Collaborative Design Activity

CSG - Geometria Construtiva Sólida

CTM - Cadastro Territorial Multifinalitário

ESRI - Environmental Systems Research Institutes

FIG - Federação Internacional do Geômetras

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IFC - Industry Foundation Class

IPPUC Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba

LADM - Land Administration Model

OpenGL - Open Graphics Library

RRR - Direitos, Responsabilidades e Restrições

SBD - Sistemas de Banco de Dados

SIG - Sistemas de Informações Geográficas

SIT - Sistema de Informações Territoriais

SQL – Linguagem de Consulta Estruturada

SMU – Secretaria Municipal de Urbanismo

TIN - Triangular Irregular Network

UFPR - Universidade Federal do Paraná

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>17</b>
1.1 PROBLEMA.....	18
1.2 HIPOTESE .....	18
1.3 OBJETIVOS .....	19
1.3.1 Objetivo Geral.....	19
1.3.2 Objetivos Específicos .....	19
1.4 JUSTIFICATIVA .....	20
1.5 DELIMITAÇÕES DO TRABALHO .....	21
1.6. ESTRUTURA DO TRABALHO .....	22
<b>2. O CADASTRO 3D E A PROPRIEDADE 3D .....</b>	<b>23</b>
2.1 O CADASTRO 3D .....	23
2.2 A PROPRIEDADE 3D.....	25
2.3 O CADASTRO E A PARCELA 3D NO BRASIL .....	33
2.3.1 Perspectivas de Inserção do Cadastro 3D no Brasil .....	36
<b>3. SISTEMAS DE INFORMAÇÕES TERRITORIAIS .....</b>	<b>38</b>
3.1 O CONCEITO DE DIMENSÃO .....	40
3.1.1 A Dimensão e a Visualização em 2,5D.....	41
3.1.2 A representação 3D ‘verdadeira’ .....	43
<b>4. ESTRUTURAS TOPOLÓGICAS E MODELOS DE REPRESENTAÇÃO 3D .....</b>	<b>46</b>
4.1 RELACIONAMENTOS TOPOLÓGICOS .....	47
4.2 MODELOS DE REPRESENTAÇÃO DE ESTRUTURAS GEOMÉTRICAS 3D...	49
4.2.1 Representação por Bordas (B-Rep) .....	50
4.2.2 Geometria Construtiva Sólida (CSG).....	53
4.2.3 Representação por Varredura ( <i>Sweep Representation</i> ).....	55
<b>5. BANCO DE DADOS .....</b>	<b>57</b>
5.1 TIPOS DE BANCO DE DADOS .....	57

5.1.1 Banco de Dados Objeto Relacional .....	58
5.1.1.1 A Linguagem de Consulta Estruturada (SQL) .....	59
5.2 LINGUAGEM DE MODELAGEM UNIFICADA (UML).....	60
5.2.1 Modelagem conceitual de dados geográficos.....	61
5.2.1.1 Modelo UML- <i>Geoframe</i> .....	62
<b>6. CASO DE ESTUDO DA UNIDADE DE PROPRIEDADE 3D SELECIONADA ....</b>	<b>63</b>
6.1 O SHOPPING MUELLER.....	66
6.2 A PASSARELA SUSPENSA .....	67
6.3 A LEI Nº 10.478 DE 2002 .....	68
<b>7. MATERIAIS E METÓDOS .....</b>	<b>70</b>
7.1 MATERIAIS .....	70
7.1.1 O software ArgoCASEGEO .....	70
7.2 METODOLOGIA.....	74
7.2.1 Projeção Ortogonal da Unidade de Propriedade 3D .....	78
7.2.2 Extrusão das Feições .....	80
7.2.3 Conversão para Multipatch.....	81
7.2.3.1 A Estrutura Multipatch .....	82
7.2.4 Conversão para COLLADA .....	86
7.2.5 Modelamento no SketchUP Criação do Modelo 3D com o SketchUP (B-rep). 87	
7.2.6 Exportação do Modelo e Substituição no ArcGIS .....	89
<b>8. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>91</b>
8.1 MODELAGEM BANCO DE DADOS GEOGRÁFICOS .....	91
8.2 ESTUDO DE CASO – UNIDADE DE PROPRIEDADE 3D PASSARELA SUSPENSA.....	93
8.3 DISCUSSÕES .....	97
<b>9. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>99</b>
9.1 RECOMENDAÇÕES .....	100



<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>101</b>
<b>ANEXO A - LEI Nº 10478 DE 18 DE JUNHO DE 2002 .....</b>	<b>107</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Com o passar das últimas décadas, a exploração da terra nas sociedades modernas tem se tornado cada vez mais intensa com o intuito de satisfazer às necessidades tanto do setor público como do setor privado. A urbanização, o desenvolvimento tecnológico, o aumento das necessidades da sociedade, a superpopulação, entre outros, tem levado a uma exploração intensa do solo e da terra, o que colaborou para o aumento da necessidade de construções acima e abaixo do nível da superfície.

Essa tendência mudou a forma com o que ser humano se relaciona com a terra, e serviu de inspiração para as comunidades técnicas e científicas buscarem respostas envolvendo soluções para lidarem com esse novo paradigma envolvendo situações em que as propriedades não se limitam somente mais à superfície, ou seja, propriedades 3D. Uma vez que encontramos uma solução para as propriedades 3D, e desvendarmos o problema envolvendo o princípio registral de especialidade, Cadastro 3D, aumentará a possibilidade do uso dinâmico das construções, principalmente em áreas urbanas.

O cadastro 3D é uma realidade que não possui padrões definidos na América do Sul, e muito menos Brasil, considerando seus aspectos legais e operacionais. Esse assunto envolve uma gama de conhecimentos multidisciplinares, tais como o conhecimento do quadro legal, aspectos da aquisição, representação, armazenamento e a visualização dos dados.

Avanços na visualização gráfica tridimensional, interoperabilidade de dados geoespaciais e tecnologias de acesso remoto às bases de dados, têm possibilitado a criação de novas aplicações 3D que utilizam os Sistemas de Informações Territoriais (SIT). Esses sistemas são usados principalmente em projetos de uso e ocupação do solo, telecomunicações, construções de rodovias, pontes, Cadastro 3D, entre outros (RAHMAN; PILOUK; ZLATANOVA, 2001; ZLATANOVA, SIYKA; RAHMAN; SHI, 2002). A comunidade envolvida considera que um ponto forte do SIT é a sua funcionalidade espacial analítica. Essa funcionalidade faz com que operações como consultas, mensurações e transformações sejam possíveis (LONGLEY et al., 2010).

Sistemas de Informação Territoriais 3D devem, incorporar as funcionalidades analíticas como os SIT bidimensionais fazem. A maioria dos softwares SIT utilizam

uma abordagem 2,5D para realizar suas funcionalidades tridimensionais, como por exemplo, a geração de superfícies ou a extrusão de polígonos. Para aplicações como o Cadastro 3D, essa abordagem não é suficiente. Esta pesquisa tem o intuito de trazer à luz e discutir alguns aspectos a se considerar de dificuldades técnicas que podem ser resolvidos em futuros sistemas cadastrais tridimensionais.

Com o aumento e o surgimento de novas demandas, envolvendo o Cadastro Territorial Multifinalitário, estão sendo implementadas diversas técnicas e procedimento visando a coleta, representação e a visualização dos dados cadastrais. Já que esses dados se referem a um conjunto de dados a serem manipulados para serem usados futuramente como fonte de informações, faz-se necessário a proposição de um modelo de banco de dados geográficos para que as feições sejam armazenadas. Entre os diversos modelo de representação apresentados na literatura (BRUGMAN, 2010; ZLATANOVA, SIYKA et al., 2002; ZLATANOVA, SIYKA; RAHMAN; SHI, 2004), está o método de representação por bordas (*boundary representation – b-rep*), visando o armazenamento sem ambiguidades, descrito por Zeid (1991). Esta pesquisa enfatizará o formato Multipatch, existente no software ArcGIS.

## 1.1 PROBLEMA

O problema abordado por essa pesquisa é: Como as unidades de propriedade 3D podem ser representadas em softwares de informações territoriais, e que modelos de estruturas topológicas de representação 3D têm sido sugeridos na literatura?

## 1.2 HIPÓTESE

O objetivo com o caso de estudo realizado é provar a seguinte hipótese: É possível representar e analisar objetos territoriais 3D usando os dados em formato geográficos do tipo Multipatch.

## 1.3 OBJETIVOS

### 1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é apresentar como Unidades de Propriedade 3D podem ser representadas em um sistema de informações territoriais e propor sua representação em banco de dados geográficos.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

- a) Avaliar a caracterização e definição da propriedade 3D, bem como, o direito de propriedade;
- b) Representar geometricamente dados cadastrais tridimensionais a serem armazenados em banco de dados geográficos por meio de softwares disponíveis de SIG;
- c) Descrever aspectos a serem considerados no âmbito técnico na implementação de um cadastro espacial no contexto Cadastro Territorial Multifinalitário (CTM).

## 1.4 JUSTIFICATIVA

Com o advento da tecnologia para a coleta dados 3D, houve a possibilidade de criações de representações cartográficas, também, tridimensionais. Dessa maneira a visão clássica da Cartografia analógica, que busca a representação do mundo real tridimensional em um plano, expandiu-se para uma Cartografia Digital. Os desafios antes enfrentados em ambiente analógico, agora são enfrentados em ambiente digital. Com os avanços da computação, o desafio de se representação do mundo real, passam agora ser em ambiente computacional.

A dinâmica do crescimento urbano fez com que a utilização do espaço urbano se tornasse inadequada em muitas cidades do Brasil, principalmente no que se diz respeito aos limites e bordas dos imóveis. Quando nos referimos ao termo espaço territorial, não nos referimos mais somente aquilo que está representado ao nível da superfície, mas também ao que se encontra acima e abaixo dela.

Um dos desafios que o Cadastro tem que vencer é a incorporação da tridimensionalidade aos sistemas cadastrais convencionais bidimensionais. Entretanto, para se adicionar essa tridimensionalidade ao cadastro, não basta somente a adicionar à altura das feições representadas, é necessário modelar o armazenamento de dados e verificar os métodos de aquisição e visualização para esse fim (STOTER, J. E.; VAN OOSTEROM, 2005; VAN OOSTEROM; PLOEGER; STOTER, 2005).

A visualização de um sistema cadastral 3D, que pode estar usando um ambiente de Sistemas de Informações Geográficas 3D, se destaca por proporcionar ao usuário do sistema, seja ele administrador ou não, uma visão virtual dos objetos cadastrados. Essa visualização tridimensional, se sobressai devido, principalmente, do grande volume de informações disponíveis e pela praticidade e facilidade em visualmente acessá-las.

Um aspecto que deve ser considerado para armazenar os objetos tridimensionais dentro desses sistemas, é qual a maneira de representar tais objetos dentro dos sistemas que suportam a criação de feições tridimensionais.

O Cadastro 3D ainda é um tema em aberto pela comunidade científica brasileira, não obstante vem se desenvolvendo pesquisas neste campo. Observa-se também a falta de critérios técnicos articulados no país e a urgente necessidade e

possibilidade real de reestruturação dos sistemas cadastrais nacionais (CARNEIRO; ERBA; AUGUSTO, 2012). Foram, estes, os fatores que motivaram essa pesquisa. Considerando tais aspectos e o início das atividades com o Cadastro 3D, acredita-se que esta investigação possa contribuir para um melhor entendimento da representação 3D no Cadastro Territorial Multifinalitário.

## 1.5 DELIMITAÇÕES DO TRABALHO

O estudo realizado, nesse trabalho, está inserido no âmbito do Cadastro 3D, que engloba, dentre diversos fatores, a arquitetura de sistema necessária para dar suporte aos registros de propriedades 3D. O trabalho focará em como representar objetos 3D dentro da arquitetura de sistemas de um sistema de informação territorial, incluindo, respectivos dados e softwares.

Alguns dos assuntos que esse trabalho não aborda, são:

- O registro das propriedades não será considerado além daquele de como os objetos 3D podem ser geometricamente armazenados para que possam ser representados em um sistema de informações territoriais 3D;
- Abordagens existentes na literatura serão discutidas, porém não testadas;
- O Cadastro 3D, totalmente funcional não será desenvolvido.

## 1.6. ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em 9 capítulos. Este primeiro capítulo aborda a introdução, o problema, a hipótese os objetivos, a justificativa, algumas delimitações bem como esta seção com a estruturação da pesquisa. O segundo capítulo aborda assuntos referentes ao Cadastro 3D e à Propriedade 3D em alguns países pelo mundo, além de discutir como são abordados os conceitos de Parcela e o Cadastro 3D no Brasil. O terceiro capítulo aborda conceitos referentes aos sistemas de informações territoriais, explorando alguns conceitos de sobre dimensões. O quarto capítulo congrega assuntos sobre as estruturas topológicas e os modelos de representação 3D, bem como, sobre os relacionamentos topológicos e os modelos de representação de estruturas geométricas. O quinto capítulo versa sobre os assuntos referentes aos bancos de dados, a linguagem de consulta estruturada, sobre a linguagem de modelagem unificada, e sobre a modelagem conceitual de dados geográficos. O sexto capítulo aborda detalhes sobre o caso de estudo selecionado para a realização da pesquisa, apresentando informações sobre suas características. O sétimo capítulo mostra os materiais e a metodologia utilizada no decorrer do trabalho. O oitavo capítulo apresenta os resultados encontrados por esse trabalho, e também apresenta algumas discussões. O nono capítulo encerra com algumas conclusões e recomendações.

## 2. O CADASTRO 3D E A PROPRIEDADE 3D

### 2.1 O CADASTRO 3D

O cadastro 3D começou a ser pesquisado no ano 2000, na Universidade de Tecnologia de Delft, mais especificamente no Departamento de Geodésia, dois pesquisadores iniciaram a pesquisa sobre a possibilidade e a necessidade do registro de uso do espaço no Cadastro 3D (STOTER; PLOEGER, 2003). Em seguida diversos outros países começaram a suas pesquisas relacionadas com o Cadastro 3D, entre os quais estão: Noruega, Suécia, Austrália, Turquia, Israel e Malásia (HASSAN et al., 2008; SHOSHANI et al., 2004; STOTER, J. E. et al., 2004; VALSTAD, 2003).

O cadastro em sua configuração tradicional é baseado em uma divisão de terras por parcelas bidimensionais e os seus direitos e limites legais são registrados juntamente nessa parcela. Entretanto, de acordo com Stoter e Ploeger (2003) na maioria dos países a doutrina tradicional legal representa os direitos de propriedade como um cone que inicia no centro da Terra e vai até os céus, como expressado na máxima latina “*cujus est solum ejus est usque ad coelum et ad inferos*” (o proprietário da terra detém tudo dos céus até o núcleo da Terra). Outra máxima latina, referente aos objetos que se encontram atachados à superfície da terra é apontada por Chong (2006) e diz o seguinte: “*Quicquid plantatur solo, solo cedit*” (o que estiver vinculado à terra se torna parte da terra).

A relação existente entre o homem e a terra, ou entre morador e moradia, é uma relação que sofre de um dinamismo constante. Em seu trabalho Hu (2008), pondera que ao se realizar esse processo de representar o dinamismo que ocorre do 3D para o 2D, ocorrem diversos problemas, sendo que alguns deles são relativos à visualização de objetos 3D, às operações geométricas e, também, às topológicas.

O crescimento populacional das cidades durante as últimas décadas ocasionou uma busca por melhor aproveitamento do espaço, sendo muitas vezes dado como solução, o uso de edificações com mais de um pavimento (STOTER e VAN OOSTEROM, 2005). De acordo com o escrito por Chong (2006), quando há um uso multifuncional da terra, ou seja, quando a terra combina diferentes funções dentro de uma mesma área, geralmente existe uma sobreposição e até mesmo construções



interligadas, que recebem o nome de propriedades estratificadas. Alguns exemplos desses casos são apontados:

a) Acima da superfície de construção

- ✓ Apartamentos;
- ✓ Construções superpostas;
- ✓ Infraestrutura e serviços públicos aéreos;
- ✓ O uso do espaço aéreo (construções sobre a água ou estruturas autossustentáveis flutuando no ar).

b) Abaixo da superfície de construção

- ✓ Construções subterrâneas;
- ✓ Infraestrutura e serviços públicos subterrâneos;
- ✓ Região de área poluída;
- ✓ Atividades geológicas.

Considerando esse contexto de edificações com um ou mais pavimentos, Stoter e Ploeger (2003) apresentam estudos de casos representando situações complexas para o Cadastro nesse sistemas. O primeiro caso é a combinação de uma área pública com múltiplos pavimentos, um centro comercial e um Shopping Center, onde todas as partes que compõe esse complexo pertencem a diferentes proprietários. Tal fato, só é possível através da divisão das construções com mais de um pavimento como se fossem apartamentos, cada qual com seus direitos.

De acordo com Holzschuh, Amorim e Souza (2010), o direito de propriedade e a representação cartográfica são os problemas fundamentais envolvidos em edifícios. Como a parcela é representada bidimensionalmente, é praticamente impossível representar os diversos serviços que se encontram em um prédio comercial, por exemplo. Além disso, existem os direitos de propriedade que incidem sobre o imóvel, e as leis de condomínio, que preservam o uso de todos os proprietários do imóvel, além dos direitos de propriedade sobre o apartamento, que indica que o sistema de registro de imóveis já tem uma abordagem tridimensional, embora isso não esteja evidenciado (STOTER, J. E.; VAN OOSTEROM, 2005).

Um Cadastro 3D não foca apenas a ideia de registro do proprietário do imóvel, também atende a outras necessidades (BILLEN; ZLATANOVA, 2003), como

planejamento do uso e ocupação da terra, localização e visualização de cabos e dutos (água, eletricidade, telefonia, gás, cabos de fibra ótica, TV a cabo) que são criados para garantir a infraestrutura da cidade (STOTER, J. E. et al., 2004). Isso é importante para o planejamento público, futuras instalações de equipamentos, novos loteamentos, além de ordenar o uso do subsolo.

## 2.2 A PROPRIEDADE 3D

O assunto “Propriedade 3D” tem sido um tópico discutido e pesquisado recentemente, diversas conferências e workshops tem contribuído nesse tópico e existem várias sessões da FIG, voltadas para tal<sup>1</sup>. Devido a isso, existem artigos acadêmicos, dissertações, teses e outros tipos de publicações que apresentam e discutem tal assunto considerando diferentes pontos de vista: jurídico, técnico, organizacional, entre outros. A pesquisa sobre propriedade 3D abrange uma gama de diferentes tópicos que vão dos jurídicos até a visualização de dados.

As pesquisas realizadas recentemente sobre Propriedade 3D, focaram em sua maioria em aspectos técnicos e de registros de dados, onde os aspectos legais e jurídicos têm sido menos pesquisados. Entretanto, existem algumas tendências de que o interesse nos aspectos legais da Propriedade 3D está aumentando. Um exemplo disso é a criação da ISO 19152 – Land Administration Model (LADM)<sup>2</sup>. De acordo com Van Oosterom et. al. (2006), como o modelo utilizado como base para o LADM era focado em aspectos geométricos da administração de terras foi necessário realizar uma mudança para um foco jurídico.

A Propriedade 3D é geralmente considerada um tipo especial de propriedade, diferente da propriedade 2D tradicional. O caso mais tradicional é aquele em que todo o espaço contido dentro da parcela 2D pertence e pode ser usado pelo seu proprietário, porém a possibilidade de garantir direitos específicos de uma parte desse

---

<sup>1</sup> Ver mais em: <http://www.gdmc.nl/3DCadastrals/>

<sup>2</sup> O LADM é um esquema conceitual que organiza os conceitos e as relações entre direitos, responsabilidades e restrições (RRR), que regulam questões como a propriedade de bens imóveis (terra ou água) e os componentes geométricos associados com a sua representação espacial. Adotado e publicado, em 2012, pela Organização Internacional para Padronização, propõe um modelo de referência para padronizar os aspectos comuns dos sistemas de administração da terra e, em particular, os seus elementos centrais cadastrais.

espaço dentro da propriedade 2D existe e pode tomar diferentes formas. Diferentes tipos de direitos de propriedade 3D têm existido por um longo período de tempo, mas a necessidade, bem como seu uso, aumentaram com o passar do tempo (SANDBERG, 2003).

De acordo com Paulsson (2007), não é fácil entender o que o conceito 'Propriedade 3D' quer dizer realmente, já que o mesmo não tem um significado simples e de fácil absorção. Não existe uma definição clara e não ambígua desse conceito, dado que, a sua forma pode variar de país para país de acordo com a sua legislação. No meio acadêmico e em sua literatura, também não há consenso claro sobre o que se entende como significado de tal conceito.

Paulsson (2007), coloca que antes de se definir o conceito 'Propriedade 3D' é necessário entender e discutir o significado de propriedade imobiliária no geral. O autor discorre sobre a dificuldade que é para a definição de tal conceito, colocando que tal forma, como o conceito de Propriedade 3D não é um conceito homogêneo, tampouco, padronizado. Coloca ainda que, as características físicas juntas com os direitos institucionais são geralmente referidos como propriedade imobiliária (*real property*) ou como bens imobiliários (*real estate*) (PAULSSON, 2007).

A definição de propriedade 3D varia conforme cada país e é tão difícil de encontrar uma definição clara e não ambígua, quanto a de propriedade imobiliária. Para se obter uma definição mais exata do significado do conceito de propriedade 3D é necessário olhar para a legislação de cada país que tem a possibilidade da formação de propriedades desse tipo. Uma conclusão obtida pelo primeiro workshop internacional em Cadastro 3D em Delft, foi que o conceito de propriedade depende principalmente do sistema legal nacional de cada país, em que cada sistema possui seus instrumentos para o multiuso da terra.

Segundo Paulsson (2007), quando estudamos a propriedade 3D bem como seus direitos ao redor do mundo, é possível identificar dois tipos principais. O primeiro, Propriedade 3D Independente, é o tipo 'puro' de delimitação tridimensional do espaço, o segundo tipo, condomínio, é a propriedade de apartamentos geralmente conectadas a um prédio ou construção, em que uma associação de moradores cuida das áreas comuns. Dentro dos países e estados que possuem um sistema de direitos de Propriedade 3D, existem alguns termos específicos para as formas desse tipo de propriedade, como por exemplo, "*stratum*" e "*strata title*", para o caso de Propriedade 3D Independente e para o tipo de propriedade Condomínio, respectivamente.

Contudo, tudo leva a crer que não há nenhum termo que defina e que inclua, essas e outras formas que podem ser contadas como propriedade 3D.

É importante observar que não se trata somente da questão de como definir o conceito de Propriedade 3D, mas também qual terminologia usar para esse conceito. Uma terminologia padrão faria com que fosse possível comparar Propriedade 3D e o direito de propriedade 3D de um país 'A' com a sua contraparte correspondente em um país 'B', dado que ambos os direitos compartilhariam as mesmas características já que possuem o mesmo significado. Também iria contribuir para a correspondência dos sistemas legais de Propriedade 3D, em sistemas legais nacionais de países distintos (PAASCH; PAULSSON, 2012).

Em seu estudo Paulsson (2007), encontrou duas formas de se descrever o fenômeno de propriedade 3D, na literatura a respeito desse assunto, 'Cadastro 3D' e 'Propriedade 3D'. De acordo com Paasch e Paulsson (2012) o termo 'Cadastro 3D', algumas vezes é usado para descrever o sistema cadastral atual da região, ou o sistema de registro das propriedades, em que o cadastro se apoia, mas também, é usado como um termo geral para propriedades tridimensionais. Os autores encontraram diversos outros termos para esse conceito, nem todos eles incluíam o '3D' ou 'tridimensional' como uma componente para descrever o conceito. Em alguns casos foram encontrados termos como 'multifuncional' ou 'múltiplo', os quais colocam o uso da parcela de terra em foco, com suas diferentes atividades e diferentes atores envolvidos. Outros envolvem 'espaço' ou 'volume' referindo-se a extensão da parcela.

Para Paulsson (2007), 'Cadastro 3D' é usado de forma mais ampla pela comunidade internacional e foca geralmente em aspectos técnicos de tal fenômeno, enquanto que, 'Propriedade 3D', por sua vez, é mais conectado com aspectos legais de tal fenômeno.

Focando no aspecto tridimensional da Propriedade 3D, um objeto de três dimensões pode ser definido como algo que possui um comprimento em altura, largura e profundidade. Entretanto, isso não significa, por exemplo, que as propriedades 2D, são planas e somente incluem a superfície da parcela. Em diversos sistemas jurídicos, são considerados que as propriedades bidimensionais possuem uma extensão em três dimensões e, em teoria, se estende indefinidamente para cima, até os céus, e para baixo, até o centro da terra (Figura 1) (PAASCH; PAULSSON, 2012).

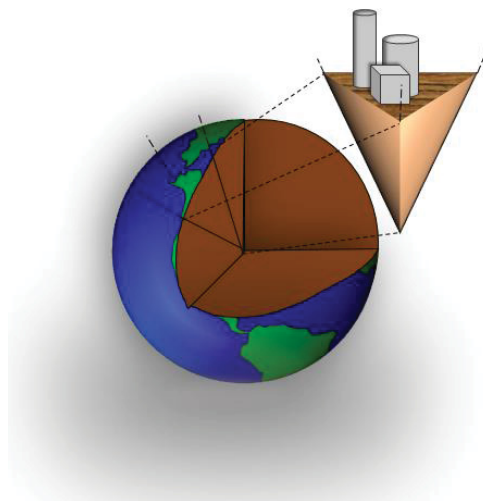


FIGURA 1 - EXTENSÃO DO DIREITO DE PROPRIEDADE ATÉ O CENTRO DA TERRA

FONTE: O AUTOR (2015)

O aspecto tridimensional de uma Propriedade 3D não é tanto a extensão da propriedade, mas sim a sua delimitação. A propriedade 3D é delimitada nos planos horizontal e vertical, já a propriedade 2D é delimitada somente no plano horizontal (Figura 2).'

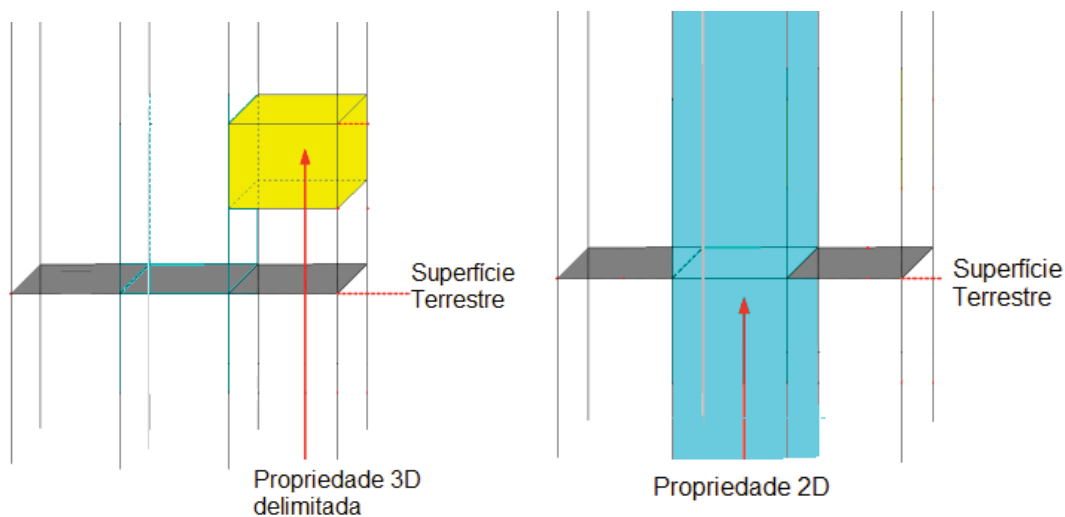


FIGURA 2 - PROPRIEDADE 2D E PROPRIEDADE 3D

FONTE: O AUTOR (2015)

As propriedades 2D são tradicionalmente registradas por suas coordenadas x e y, e as propriedades 3D por suas coordenadas x, y, e z. Para Paasch e Paulsson (2012), uma definição de propriedade 3D que focasse nos aspectos de delimitação

poderia ser, “propriedade delimitada horizontalmente e verticalmente”, por exemplo, em comprimento, largura e também em altura e / ou em profundidade.

Como pode ser entendido, é difícil encontrar uma definição clara e não ambígua que compreenda o significado do conceito de Propriedade 3D. Conforme colocado por Paulsson (2007), para definirmos esse conceito de maneira mais exata precisamos olhar para a legislação dos países que já possuem a possibilidade da formação de propriedades 3D. A seguir serão mostradas algumas das definições de países com essas possibilidades.

Uma definição apresentada pelos pesquisadores holandeses é que a Unidade de Propriedade 3D é uma quantidade de espaço delimitada a qual uma pessoa é intitulada por meio de direitos reais. Dentro dessa definição, uma parcela cadastral 2D seria também uma Unidade de Propriedade 3D, sem os problemas particulares ligados à terceira dimensão. Esses mesmos pesquisadores, afirmam que o que causa os problemas, seguindo essa definição, são estruturas mais complexas (com a possibilidade de diferentes tipos de uso), que eles denominam como Situação de Propriedade 3D (*3D property situation*), em que as unidades de propriedade são localizadas uma em cima das outras, ou conectando entre si (STOTER, J. E. et al., 2004). O termo usado por eles para denominarem esse tipo de propriedade é Propriedade Estratificada (*stratified property*), onde vários usuários estão usando uma quantidade de espaço limitada em três dimensões, posicionados em cima uns dos outros dentro de uma parcela plana ou cruzando os limites das parcelas e onde os direitos reais são estabelecidos para intitular pessoas a volumes separados (STOTER, 2004; STOTER, J. E. et al., 2004). Segundo Paulsson (2007), essa definição é demasiadamente complicada e muito ampla.

De acordo com Kitsakis e Dimopoulou (2014), a falta de segurança nas alienações, hipotecas e na criação de servidões levou a Suécia, e a Noruega, desde de 2010, a introduzir unidades de Propriedade 3D independente em seus sistemas legais. As características mais distintas do conceito de cada país serão descritas a seguir.

Existem dois tipos de unidades de propriedade 3D na Suécia, a unidade de propriedade tridimensional (*three-dimensional property unit*), que é uma propriedade delimitada em seu todo horizontalmente e verticalmente, e o espaço tridimensional (*three-dimensional space*) que é um espaço incluído na unidade de propriedade diferente da unidade de propriedade tridimensional e, também, definido

horizontalmente e verticalmente (KITSAKIS; DIMOPOULOU, 2014). As unidades de propriedades 3D são criadas através de um procedimento cadastral similar aos das parcelas convencionais, desde que sejam relacionadas a um edifício ou a uma construção e o acesso ao solo seja garantido. Essas construções, apesar de não serem limitadas aos limites das parcelas da superfície, são necessariamente ligadas à alguma construção ou edifício, ou a uma parte deles, portanto parcelas 3D vazias independentes não podem ser criadas acima ou abaixo da superfície. O uso das unidades de propriedades 3D varia incluindo instalações e comunicações subterrâneas, pontes, áreas urbanas que não possuem espaços ou projetos complexos. As bordas das propriedades 3D podem ser definidas por suas coordenadas X, Y, Z ou por referências a tetos, pisos e paredes (KITSAKIS; DIMOPOULOU, 2014). De uma maneira sucinta, o sistema legislativo sueco define a Propriedade 3D como uma unidade de propriedade que é delimitada horizontalmente e verticalmente como um todo.

A Noruega estabeleceu a sua própria legislação de Cadastro 3D, compartilhando princípios similares com a da Suécia. Na lei cadastral estão definidas as parcelas cadastrais, incluindo parcelas 3D, unidades de condomínios, terras comuns e terras arrendadas. Nesse sistema jurídico uma parcela 3D é definida como “uma construção, estrutura ou um volume físico delimitado para a permissão de planejamento e construção tenham sido garantidos e que tenha sido subdividida como uma propriedade separada. Instalações permanentes sem proprietários no leito marinho ou no subsolo da terra também podem ser estabelecidas como parcelas 3D” (KITSAKIS; DIMOPOULOU, 2014). As Unidades de Propriedade 3D da Noruega são criadas através de um processo cadastral e são relacionadas a uma construção ou instalação predial. As parcelas 3D podem ser registradas como entidades separadas e não precisam estar inclusas dentro de uma parcela da superfície (VALSTAD, 2003;2005).

Outra definição que pode ser encontrada para descrever a divisão tridimensional da propriedade é a de espaço aéreo. Powell e Rohan<sup>3</sup> (1993, citado por Paulsson, 2007) usam o conceito de espaço aéreo quando para unidades independentes do espaço aéreo dos bens imobiliários, e definem esse termo como “o espaço acima a um plano específico de terra, sobre ou embaixo de uma extensão de

---

<sup>3</sup>POWELL, Richard Roy; ROHAN, Patrick J. **Powell on real property**. Matthew Bender & Co. Inc., New York, Oakland, 1993.



terra” (*the space above a specified plane over, on or beneath a designated tract of land*<sup>4</sup>). O espaço aéreo, nesse caso, denota os bens imobiliários quando descritos em três dimensões, onde o ar, por si só, não é considerado um bem imóvel. Essa definição foca mais no espaço em si mesmo, do que o que é realmente uma propriedade 3D, além de deixar dúvidas sobre o que o está incluso no espaço sob a superfície da parcela. Uma parte da unidade de propriedade 2D, também pode ser composta por essa definição, dado que ela não inclui qualquer delimitação. Como sugerido pelos autores, o espaço aéreo deve ser descrito em três dimensões com referência a um local específico para que o mesmo possua um significado de propriedade 3D.

De acordo com Paasch e Paulsson (2012), o Modelo de Domínio de Administração Territorial (LADM) usa um conceito de face para apresentar limites tridimensionais. Um exemplo dado na ISO 19152 é que faces de fronteira são usadas onde volumes ilimitados não são aplicáveis. As faces de fronteiras fecham os volumes em altura (p. ex. cada andar de um apartamento) ou em profundidade (p. ex. garagens subterrâneas) ou em todas as outras direções para formar um volume delimitado. Os volumes delimitados representam o espaço legal, em contraste com o espaço físico. Contudo, essa descrição, para os autores, não apresenta uma definição de propriedade 3D, ao invés disso, ela descreve as Propriedades 3D como representações 3D de objetos (unidades espaciais). Essa definição do LADM é baseada na existência das chamadas unidades administrativas. Uma unidade básica administrativa é uma “entidade administrativa consistindo de zero ou mais unidades espaciais nas quais um ou mais direitos, responsabilidades e restrições (RRR) únicos e homogêneos estão associados em toda a extensão da entidade como um todo, com a mesma”. Uma unidade espacial é definida como uma “uma área simples (ou múltiplas áreas) de terra, água ou um volume simples (ou múltiplos volumes) do espaço” (ISO, 2012).

Para Paasch e Paulsson (2012), essa descrição do LADM não se encaixa como definição. Essa descrição foca em aspectos legais e não em aspectos físicos do objeto, porém não informa uma definição para a Propriedade 3D. Entretanto, a delimitação dessa descrição se baseia em um conceito extremamente técnico de

---

<sup>4</sup>*Tract of land* é um termo que causa controvérsia na Lei Americana, aqui foi transcrito de uma forma mais geral com o intuito de facilitar o entendimento do leitor. Ver mais sobre em: Goodman, P. Zoning in the Fourth Dimension. 1985.



“faces”, o que pode ser bem difícil de absorver e entender sem o devido conhecimento técnico.

Paulsson (2007), propõe uma definição para Propriedade 3D em sua obra utilizando uma abordagem mais ampla. O autor propõe que a Propriedade 3D seja definida como sendo o “bem imobiliário que é legalmente delimitado verticalmente e horizontalmente”. De acordo com ele, esta definição inclui os diferentes tipos de propriedade nos diferentes tipos de sistemas legais existentes em diversos países e, ainda, distingue claramente a Propriedade 3D da ‘propriedade tradicional’, propriedade 2D, que é delimitada somente verticalmente.

Como colocado anteriormente, um objeto tridimensional pode ser definido como algo que tem uma medida de comprimento (altura), largura e profundidade. A expressão ‘tridimensionalmente determinado’ é usada para definir esse tipo de propriedade. Focando no ponto de vista que a expressão citada anteriormente pode ser utilizada algumas vezes para definir o que é uma Propriedade 3D, é importante colocar que uma definição concentrada em tal aspecto não explica o que uma propriedade 3D realmente é, pelo contrário, dá a entender que essa definição já é feita na legislação. Se essa definição for alterada um pouco para que a Propriedade 3D, seja um volume que é delimitado em comprimento, largura, altura e profundidade, teremos uma definição que reflete a natureza física da Propriedade 3D, porém, essa definição não diz nada sobre se esse volume é um bem imobiliário, no sentido legal, ou se é somente outro volume de ar qualquer (PAULSSON, 2007).

Diferentes definições de Propriedade 3D são apresentadas na literatura, mas todas elas apresentam algumas falhas e deficiências, como por exemplo, sendo algumas vezes muito amplas ou muito restritas, descrevendo o espaço ao invés do objeto, baseando-se em conceitos extremamente técnicos, focando no uso ao invés do objeto, ou não explicando nem definindo o que realmente é a propriedade. Para Paulsson (2007), é difícil de encontrar uma definição de Propriedade 3D que possa ser usada internacionalmente, apesar de o termo Cadastro 3D ser utilizado para definir as situações em que ocorre esse fenômeno.

Como pode ser visto, o conceito de Propriedade 3D é um conceito que possui um significado complexo e nem sempre de fácil compreensão. A não definição de um termo que possua a mesma terminologia internacionalmente colabora para que seja mais difícil ainda esse entendimento entre os diversos sistemas legais existentes.

O conceito de Propriedade 3D foi discutido acima, incluindo as diferenças que se pode encontrar nas definições entre alguns países. A discussão foi centrada na definição do significado do conceito de Propriedade 3D.

## 2.3 O CADASTRO E A PARCELA 3D NO BRASIL

Os mais avançados e mais modernos recursos técnicos de levantamentos, processamento, tratamento e análise dados espaciais não se refletem na implantação de sistemas de informações territoriais eficientes no âmbito cadastral nacional (SANTOS et al., 2013). A aproximação com os princípios e conceitos internacionais de cadastro deu-se somente a partir da Lei 10.267/01, com a exigência do intercâmbio entre cadastro e registro e do georreferenciamento de imóveis rurais, e mais futuramente no cadastro urbano com a outras iniciativas voltadas para o aperfeiçoamento do cadastro urbano, como a publicação da Portaria n.511/09, do Ministério das Cidades, que propõe diretrizes para a implementação de Cadastro Territorial Multifinalitário (CTM) nos municípios brasileiros (SANTOS et al., 2013).

Um dos conceitos preconizados pelo CTM é o conceito de parcela, porém, no Brasil, observa-se uma discrepância entre as situações práticas e os conceitos elaborados em iniciativas legais, quanto à aplicabilidade do conceito de parcela como “uma porção do território com condições homogêneas de domínio”, bem como “a menor unidade do cadastro”. A proposta colocada pela diretriz, citada anteriormente, aproxima-se da abordagem mais conceitual de parcela quando coloca que o CTM seja modelado com base em um sistema de referência único e cada parcela um identificador único e estável.

De acordo com Santos et. al. (2013), a parcela é considerada a unidade básica do cadastro, e sua definição mais difundida estabelece essa unidade como sendo correspondente a uma porção do território com condições homogêneas de domínio. Entretanto essa definição pode ser flexível e se adaptar aos diversos sistemas cadastrais, já que cada país possui um sistema que reflete as respectivas características. Carneiro et. al. (2012), colocam que o termo parcela apesar das conotações específicas de cada país, é vista como uma porção de território que sobre a qual se pode exercer algum tipo de direito. Essa porção do território, citada na

colocação dos autores, corresponde às coisas imóveis definidas na maioria dos Códigos Civis dos países.

Conforme é colocado por Molina (2010), antes que se iniciem qualquer ação para a implantação de um sistema cadastral, primeiramente é necessário determinar claramente o que se entende por imóvel cadastral, sem que haja prejuízo para outras possíveis descrições que possam existir. De acordo com Santos et. al. (2013), no Brasil coexistem conceitos distintos de imóveis rurais, variando conforme seus objetivos (funditários ou tributários). Os mesmos autores ainda afirmam que a unidade territorial do registro de imóveis é o bem imóvel, que deve ser caracterizado inequivocamente e indicar o registro que lhe originou. Colocam também que a unidade territorial comumente utilizada no cadastro municipais nacionais é o imóvel, e na maioria dos casos os imóveis que são tributáveis, além de tais imóveis poderem ser constituídos por mais de uma situação de domínio.

O código civil brasileiro define o imóvel, em seu artigo 79, como sendo: “são bens imóveis o solo e tudo quanto se lhe incorporar natural ou artificialmente”; cuja espacialidade é denotada no artigo 1.229: “A propriedade do solo abrange a do espaço aéreo e subsolo correspondentes, em altura e profundidade úteis ao seu exercício, não podendo o proprietário opor-se a atividades que sejam realizadas, por terceiros, a uma altura ou profundidade tais, que não tenha ele interesse legítimo em impedi-las.”

Como pode ser entendido, e também como foi afirmado por Carneiro et. al. (2012), a definição legal de propriedade imobiliária exige uma abordagem em três dimensões. Desde os primórdios, o direito de propriedade, possui uma conotação 3D, porém seu alcance sempre foi descrito por meio de elemento 2D, devido a limitações tecnológicas ou a não devida importância dada a ele. Entretanto, de acordo com Carneiro et. al. (2012), a escassez territorial e a complexidade que envolve o seu ordenamento aponta para uma necessidade de também considerar os dados de sua volumetria.

O já difundido modelo Cadastro 2014<sup>5</sup> (KAUFMANN; STEUDLER, 1998), proposto pela FIG, introduziu um novo conceito, de objeto territorial, além de o diferenciar do conceito de parcela:

---

<sup>5</sup> <http://www.fig.net/cadastre2014/>

- a) Parcela: porção de terra com limites definidos, sobre a qual se aplica o direito de propriedade a um indivíduo ou pessoa jurídica.
- b) Objeto Territorial: porção de terra com condições homogêneas em seus limites. Os objetos territoriais podem ser divididos em duas categorias:
  - Objeto Territorial Legal: descrito pelo conteúdo legal de direito ou restrição e pôr os respectivos limites cujos esses direitos e restrições se aplicam.
  - Objeto Territorial Físico: é descrito como sendo um objeto territorial possui condições homogêneas sem um caráter legal, por exemplo, construções ou ruas

Em seu trabalho, Carneiro et. al. (2012), estudou os objetos territoriais legais existentes no Brasil, denotando assim a sua indiscutível importância para um cadastro territorial multifinalitário são eles, Terrenos de Marinha, Terrenos reservados, Servidão, Reserva Legal, Área de Preservação Permanente, Direito de Mineração, Restrições Aeronáuticas e Restrições Urbanísticas. Para informações mais aprofundadas sobre estes elementos consultar o trabalho dos autores supracitados.

Algumas das limitações à propriedade de que se refere a legislação brasileira, pode-se observar a definição dada por parte dos municípios em relação ao potencial de utilização do espaço aéreo, através do estabelecimento de índices de aproveitamento do solo. Com isso, de acordo com Carneiro et. al. (2012), pode-se observar uma distinção entre o Direito de Propriedade e o Direito de Construir. Isto têm sido um tema de discussão entre os autores, estudiosos e os representantes dos setores que desenvolvem políticas do solo nas cidades latino americanas e denotam a importância de se começar a entender as cidades como um conjunto de objetos tridimensionais sobre os quais incidem direitos que se interceptam entre si.

Como resultado de seu trabalho Santos et. al. (2013) apontaram que a consideração da parcela como uma porção de solo possuída por uma pessoa ou por várias *pro indiviso* mostrou-se adequada, nos casos analisados pelos autores, e logo em todo o território nacional, já que essa proposta está de acordo com a proposta de cadastro territorial multifinalitário adotada pela portaria 511.

Além da confirmação da viabilidade da adoção da parcela como a menor unidade do cadastro, não admitindo assim a adoção de subparcelas, confirma também, a adoção do conceito de objetos territoriais associados a estas parcelas. A

utilização do conceito de objetos territoriais permite a individualização de limites que não possuem o caráter de limite de propriedade, como é o caso da parcela.

### 2.3.1 Perspectivas de Inserção do Cadastro 3D no Brasil

A situação em que se encontram os cadastros rurais e urbanos no Brasil evidencia que muitas questões ainda precisam ser melhores trabalhadas e muitos desafios precisam ser vencidos. Entretanto a popularização das geotecnologias ao longo do país, junto aos profundos estudos da legislação do território e de identificação dos objetos territoriais legais são um indicativo que o Brasil está vivenciando uma época para a reflexão e definição de estratégias que permitam estruturar um Cadastro 3D.

As primeiras pesquisas realizadas no país, relativas à essa temática, abordaram questões técnicas, legais e administrativas (HOLZSCHUH et. al., 2010; CARNEIRO et. al. 2012). Stoter (2004), propôs três modelos para identificar as possíveis situações: o modelo de Cadastro 2D com informação 3D associada, o modelo híbrido 2D/3D e o Cadastro 3D completo.

- a) Cadastro 3D completo: essa solução pode ser considerada a ideal pois nesse caso seria possível acessar todas as parcelas como volumes. Isso seria possível adicionando ao cadastro (no banco de dados) das parcelas uma coluna com os volumes das parcelas, também referidas como parcelas volumétricas. Outra possibilidade seria a exigência de que todas as parcelas estejam com seus respectivos limites representados por coordenadas tridimensionais. Porém, como colocado por Carneiro et. al. (2012), esse modelo mesmo sendo considerado o ideal, não é viável para o caso brasileiro por envolver alterações significativas na estrutura legal do país;
- b) Modelo híbrido 2D/3D: nesse modelo existiria a existência de uma parcela volumétrica. Seriam feitos os registros das parcelas em 2D e, registros adicionais de espaço legal 3D seriam realizados no caso de parcelas 3D. Em outras palavras, seria realizado o cadastro 2D das parcelas em que a componente vertical não tivesse tanta relevância e

um cadastro 3D dos objetos territoriais legais cuja situação de fato exija a determinação de seu aspecto tridimensional. Para Carneiro et. al. (2012), em uma primeira análise, esse modelo seria o mais adequado ao caso brasileiro, dado que, o cadastro de objetos existentes acima e abaixo da superfície se destaca entre as necessidades mais urgentes de informação territorial; e

- c) Cadastro 2D com informação 3D associada: nesse modelo seria realizada a identificação dos registros que precisam do Cadastro 3D e, somente associar uma ligação no Cadastro 2D atual para estas parcelas contendo os novos registros de suas fronteiras 3D (STOTER e OOSTEROM, 2005). Para Carneiro et. al. (2012), esse é o modelo mais simples e adequado a uma aplicação direta no Brasil, especialmente por não exigir modificações profundas na estrutura administrativa e legal.

Mesmo levando consideração as dificuldades enfrentadas pelo país referente a essa temática, algumas oportunidades para reverter esse quadro começaram a surgir, como por exemplo, legislação do georreferenciamento que criou o CNIR, as Diretrizes para a formação do CTM (Portaria 511/2009), e o Decreto nº 6.666/2008, que estabeleceu a implementação da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais. Essas normas, denotam a possibilidade real da formação e implantação de sistemas cadastrais que contemplem a individualização dos direitos em informações tridimensionais, que são inerentes a complexidade das ocupações do solo em diferentes níveis da superfície e dos direitos e restrições intrínsecos a essas ocupações.

Para que um sistema cadastral 3D seja implantado com sucesso é preciso que haja, urgentemente, uma definição dos padrões de estruturação e de intercâmbio de dados. A responsabilidade pela a implementação de informações tridimensionais poderia, em um primeiro momento, ser conferida às empresas responsáveis pela instalação, exploração e manutenção dos equipamentos urbanos, facilitando a atuação das mesmas em suas áreas, além de facilitar o controle estatal (Carneiro et. al. 2012).

### 3. SISTEMAS DE INFORMAÇÕES TERRITORIAIS

Para a Federação Internacional do Geômetras (FIG), o Cadastro é um Sistema de Informações Territoriais (SIT), normalmente baseado em parcelas, que registra interesses sobre a terra, como direitos, restrições e responsabilidades (RRR), que pode ser estabelecido para a arrecadação, aplicações legais e como um importante instrumento de apoio ao planejamento. A definição da literatura mais clássica de SIT é uma combinação entre recursos humanos e tecnológicos, e a organização dos processos de coleta, armazenamento, recuperação, disseminação e utilização dos dados territoriais de uma forma sistemática (McLaughling, 1985<sup>6</sup> *apud Nichols, (1993)*).

No SIT é importante estabelecer a necessidade da coleta sistemática, atualização, processamento e distribuição dos dados espaciais para o apoio à tomada de decisão administrativa, econômica e legal. Também deve ser aplicado no planejamento do desenvolvimento do território e para avaliar as consequências de diferentes ações (LARSSON, 1996).

O SIT pode fornecer dados na forma de um produto (como mapas ou títulos certificados) ou em forma de serviços (como consultoria profissional). Ele pode fornecer: dados de atributos, que podem ser apresentados de forma textual ou numérica; dados espaciais, que podem ser apresentados em mapas; e dados temporais, que indicam sua ocorrência (DALE; MCLAUGHLIN, 1988).

Pela legislação brasileira o SIT é formado pelos dados do Cadastro Territorial Multifinalitário (CTM) relacionados ao Registro de Imóveis e acrescentados os dados dos cadastros temáticos, Art. 4º e 5º, da Portaria 511 de 2009 (BRASIL, 2009).

Em 2009, o Ministério das Cidades publicou a Portaria Nº 511 estabelecendo as diretrizes para o CTM. Esta portaria define que o CTM: “será o inventário territorial oficial e sistemático do município e será embasado no levantamento dos limites de cada parcela, que recebe uma identificação numérica inequívoca” (BRASIL, 2009).

Ao estruturar um CTM, procura-se gerar e disponibilizar um maior número de produtos do que o gerado pelos cadastros imobiliários tradicionais, possibilitando que mais usuários possam ser beneficiados (LOCH; ERBA, 2007).

---

<sup>6</sup> McLaughlin, J.D. (1985). "Land information systems." Unpublished lecture notes Geodesy and Geomatics, UNB, Canada.



O CTM é estruturado a partir da integração de instituições cujas atividades estejam ligadas, direta ou indiretamente, ao controle territorial. Assim, torna-se importante a interconexão do cadastro com o Registro de Imóveis, com os órgãos estatais e com as concessionárias de serviços públicos (CARNEIRO et al., 2012). Em geral, o CTM compreende a parte gráfica da parcela, definida como geométrica (coordenadas, cálculos, referenciais, e outros.), e a parte que representa o direito legal sobre a parcela com seus atributos, bem como cadastros sociais e ambientais, conceito este definido por vários autores (CARNEIRO et al., 2012; HOLZSCHUH et al., 2010)

O CTM envolve questões tecnológicas (software, hardware, formato de arquivos, etc), de legislação e de administração. Tradicionalmente, os registros cadastrais consistem em um conjunto de mapas que contêm as parcelas, com uma identificação única da parcela e um arquivo de papel, onde suas informações são mantidas. Desde o final do século passado as inscrições cadastrais em países desenvolvidos começaram a ser convertidas de registros cadastrais analógicos para registros digitais (STOTER, J. E.; VAN OOSTEROM, 2010).

Os avanços computacionais e os movimentos da era digital também influenciaram a implantação do CTM e automaticamente aos sistemas de informações territoriais já que ambos possuem uma relação intrínseca. Segundo Loch e Erba (2007), o conceito de SIT varia entre os países, chegando a ser considerado, sinônimo de Sistema de Informação Geográfica (SIG). Entretanto, no Brasil, existem prefeituras que possuem o CTM em formato analógico, não dispondo de recursos humanos capacitados para realizar a conversão desses para o formato digital. Entre os sistemas mais difundidos nas prefeituras estão os Sistemas de Informações Geográficas com fins Cadastrais, aqui apresentados como SIG Cadastral, abrangendo os aspectos legais, tecnológicos e humanos (HOLZSCHUH et al., 2010).

Como colocado anteriormente o Sistema de Informações Territoriais pode ser associado a definição de SIG, e portanto a de SIG 3D, que é similar à de SIG 2D, com a diferença que a informação está associada com fenômenos de três dimensões. Isto quer dizer que um SIG 3D, deve ser capaz de realizar as mesmas tarefas que um sistema de informações geográficas 2D (RAHMAN et al., 2001). Um sistema de informações geográficas 3D deve ser capaz de prover informações acerca de fenômenos espaciais realizando tarefas que os SIG 2D são capazes realizar, como capturar dados espaciais para o sistema, estruturar dados espaciais em um



*geodatabase*, manipular operadores e visualização e análise dos resultados (LONGLEY et al., 2010).

Ford (2004), descreveu como as feições e objetos 3D podem ser armazenadas e visualizadas dentro do ambiente do ArcGIS. O autor sugeriu a junção de estruturas Multipatch para um conjunto de dados relacionados a petróleo. Isto permite a entradas de dados de múltiplos pacotes em um registro de dados comercial padrão, o que em troca permite a visualização e a consulta de feições 3D em duas ou três dimensões no ArcGIS, ou ser exportada para um software mais especializado para análises mais complexas.

A essência dos SIGs é o armazenamento de informações geográficas e semânticas em um sistema para dar suporte a análises para ambos os domínios (LONGLEY et al., 2010). Na modelagem semântica, objetos fixos e não-fixos possuem geometria. Eles também possuem propriedades, como é o caso dos atributos, relacionamentos e condições dentro e entre os objetos. As propriedades geométricas e temáticas juntas formam a semântica de um objeto (PU; ZLATANOVA, 2006).

De acordo com Held, Rahman, e Zlatanova (2004) e Dogan, Dogan e Altan, (2004) um SIG 3D deve ser capaz de realizar as seguintes operações espaciais:

- a) Operações de Recuperação (p. ex.: qual é a informação atual acerca de um objeto particular);
- b) Operações de consulta (p. ex.: recuperar dados que satisfazem algumas condições dadas);
- c) Análise integrada de dados semântico e espaciais (p. ex.: classificação, medida, operação de sobreposição);
- d) Operações de Vizinhança (p. ex.: consulta topográfica, busca simples);
- e) Operações de Conectividade (p. ex.: buffer); e
- f) Calcular distâncias, áreas e volumes (somente em 3D).

### 3.1 O CONCEITO DE DIMENSÃO

Este capítulo objetiva esclarecer termos relacionados a dimensão e como eles são usados na geometria.

O termo dimensão (D) é um conceito matemático de diversos significados, a palavra deriva do latim *dimensio* e significa dimensão ou medida. A palavra pode assumir diferentes significados dependendo da área de conhecimento, como por exemplo em matemática em que pode ser usada para definir o número de elementos da base de um vetor; ou na física que é entendida para expressar a grandeza física de um fenômeno.

As primitivas são as unidades de objetos geométricos mais simples de se representar em uma estrutura de dados vetorial. Primitivas gráficas em estruturas de banco dados vetorial são pontos, linhas, áreas e volumes. As geometrias destas primitivas gráficas são descritas por diferentes quantidades de dimensões (FOLEY et al., 1990). Um ponto, não tem dimensão, ou seja, basicamente é uma posição no espaço. Uma linha tem uma dimensão (extensão). A primitiva área necessita de duas dimensões para descrever sua extensão no espaço, comprimento e largura. Já a primitiva gráfica volume necessita de três dimensões para descrever suas extensões no espaço, comprimento, largura e profundidade. A figura a seguir ilustra a geometria das primitivas gráficas (Figura 3):

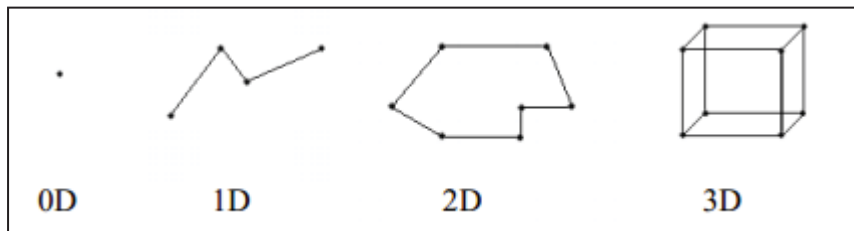


FIGURA 3 - PRIMITIVAS GRÁFICAS EM UM SIT

FONTE: FOLEY ET AL. (1990)

### 3.1.1 A Dimensão e a Visualização em 2,5D

A questão da dimensão se torna mais complicada quando envolvemos o ambiente. Cada objeto ocupa um espaço e tem a sua própria dimensão, dependendo de qual primitiva gráfica está representando. Esta dimensão do próprio objeto pode ser chamada de dimensão interna. O espaço em volta do objeto pode ser chamado de dimensão externa ( $R^n$ ) (PILOUK, 1996). A dimensão externa pode ser ( $R^2$ ) e

representar uma realidade projetada em um plano, pode ser também ( $R^3$ ), ( $R^4$ ) e assim por diante, por exemplo, um modelo 3D, ou um modelo 3D que muda com o tempo. Portanto, a palavra dimensão, pode indicar tanto a realidade interna do objeto, dimensão interna, ou o espaço externo a ele, a dimensão externa. As dimensões interna e externa não precisam, necessariamente, ser as mesmas. A ideia de lidar com fenômenos e objetos tridimensionais tratando-os como funções de valores únicos de duas variáveis deu origem ao termo 2,5D (LONGLEY et al., 2010). Por exemplo, 2,5D pode representar objetos 2D em um espaço  $R^3$ . Isto pode ser descrito matematicamente por:

$$\text{Vértice} = (x,y,z), \text{ em que } z = f(x,y)$$

Isto quer dizer que cada par de coordenadas planas, tem um valor  $z$  representado em sua função, em outras palavras, cada valor de  $z$  é uma função de  $x$  e  $y$ . A maioria dos softwares de SIT tem uma integração com a dimensão 2,5D, em que cada valor  $z$  é representado como um atributo em uma tabela (ZLATANOVA, SIYKA et al., 2002). Essa abordagem permite simular um modelo 3D, porém os objetos ainda são descritos geometricamente como feições 2D. Por exemplo, um Modelo Digital de Elevação do terreno é representado como uma coleção de feições poligonais contínuas com variações de altura, porém a superfície não tem espessura, portanto é uma representação, inteiramente, 2,5D (Figura 4) (FORD, 2004).

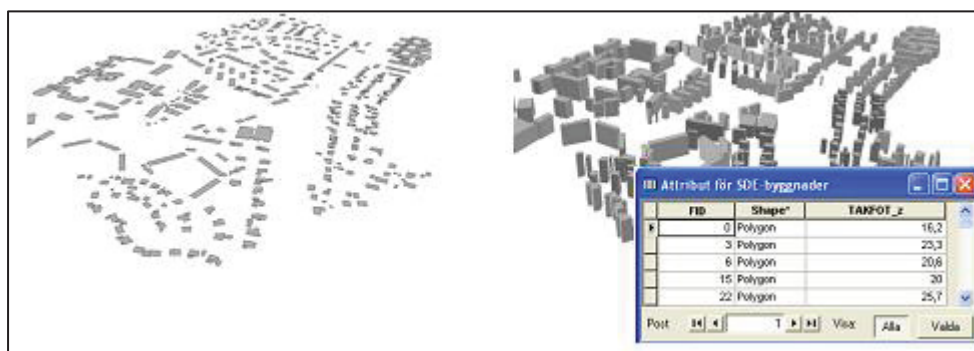


FIGURA 4 – EXEMPLO DE REPRESENTAÇÃO EM 2,5D NOS SOFTWARES SIG  
FONTE: ARENS (2004)

A abordagem 2,5D é uma maneira elegante de se representar ambientes 3D, porém tem algumas limitações. Essa abordagem só permite um único valor de  $z$  para cada par de coordenadas planas  $xy$ , o que faz com que seja complicado descrever

alguns objetos mais complexos da realidade, como por exemplo, prédios (EKBERG, 2007). Por exemplo, as feições multi-polígonos no ArcGIS permitem que o mesmo par de coordenadas xy, de um mesmo objeto, tenham dois valores diferentes na dimensão z, porém essas feições, não podem ter as mesmas coordenadas coplanares (xy) para dois vértices.

### 3.1.2 A representação 3D ‘verdadeira’

Características representadas em 3D são descritas geometricamente por suas coordenadas X, Y e Z, diferentemente das feições 2D ou 2,5D. Os atributos 3D não usam o valor da coordenada z como uma função da das coordenadas coplanares (xy), ou seja, podem existir diferentes valores de z que possuem as mesmas coordenadas x e y. As características que são descritas por suas coordenadas tridimensionais são geralmente chamadas de atributos ou 3D “verdadeiros”. Essas características 3D permitem que objetos complexos sejam armazenados em um banco de dados de um SIG. Como um exemplo disso, temos a Estrutura Irregular de Triângulos, do inglês Triangular Irregular Network (TIN), que é descrita como uma estrutura 3D “verdadeira”. Uma estrutura TIN, assemelha-se a uma estrutura 2,5D, no sentido de ser uma superfície de valor único, com valores únicos de coordenadas z para cada valor de coordenada xy (PILOUK, 1996). Apesar das estruturas TIN serem uma superfície única, a sua geometria é composta por triângulos, definidos por coordenadas xyz para cada vértice dos triângulos, e é descrita como uma superfície 3D “verdadeira”. Os sólidos também são descritos como feições 3D verdadeiras. Um sólido consiste em um conjunto de faces poligonais que criam um volume fechado. A criação de um volume fechado é um processo difícil, mas existem algumas abordagens disponíveis. Como uma dificuldade particular, podemos citar o processo de determinar o ordenamento dos vértices que formaram o sólido (FORD, 2004).

Stoter e Van Oosterom (2001), propuseram quatro categorias de primitivas 3D para o modelamento de objetos espaciais 3D, são elas:

- Poliedro
- Poliedro combinado com estruturas cilíndricas e esféricas
- Tetraedros
- Objetos CAD (estruturas topológicas)

Um poliedro pode ser definido como a coleção de faces planas poligonais 3D, conectadas através de bordas comuns, as quais foram determinadas por vértices comuns, formando um volume fechado. (FOLEY et al., 1990). A descrição de um poliedro pode ser difícil de se realizar, dado o fato que os vértices de uma mesma superfície (4 ou mais) devem estar todos em um mesmo plano. A combinação de poliedros com estruturas cilíndricas ou esféricas faz com que a modelagem se torne complexa, devido a escolha de se fazer a modelagem com elementos poliédricos ou curvados. Isto pode fazer com que o mesmo objeto seja modelado de diversas formas (ARENS, 2003).

Um tetraedro é um caso especial de um poliedro, e consiste em quatro triângulos formando um volume fechado. Ao contrário do poliedro, um tetraedro é uma estrutura bem definida, dado que os três vértices de cada triângulo devem estar posicionados em um mesmo plano sempre. Para mais explicações sobre primitivas gráficas e tetraedros consultar Kraak and Verbree (1992) e Pilouk (1996).

Os objetos CAD consistem em diversas formas de modelamento, como por exemplo, Geometria Construtiva Sólida (CSG) e outras (Figura 5) (ARENS, 2003).

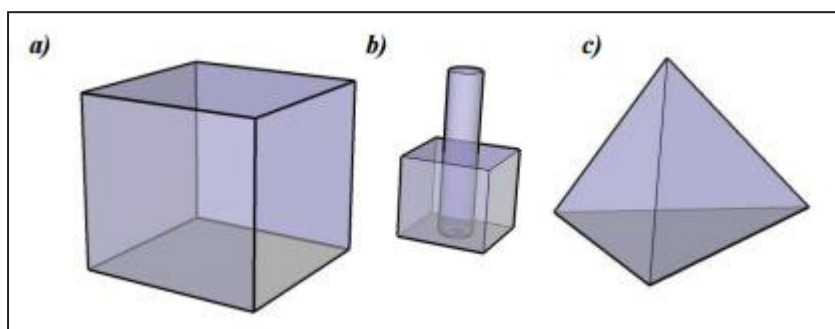


FIGURA 5 - PRIMITIVAS 3D PARA MODELAGEM DE OBJETOS ESPACIAIS 3D

FONTE: ARENS (2004)

Arens, Stoter e van Oosterom (2005), conduziram uma avaliação em relação as quatros categorias para determinar qual estrutura seria mais adequada para

modelar o mundo real. Os autores concluíram que as melhores estruturas, considerando realismo, modelagem e algoritmos para implementação em banco de dados espaciais, foram os tetraedros com ou sem estruturas esféricas ou cilíndricas. É importante colocar que considerando outros aspectos nas avaliações e outras finalidades as outras categorias podem ser mais apropriadas.

#### 4. ESTRUTURAS TOPOLÓGICAS E MODELOS DE REPRESENTAÇÃO 3D

As estruturas topológicas 2D são baseadas na teoria dos grafos coplanares, os quais podem ser representados em um plano, com um nó nas interseções dos vértices, e onde cada aresta orientada possui uma face a direita e uma face a esquerda. Essas estruturas bidimensionais, estão bem estabelecidas e presentes em uma gama de softwares, entretanto ainda não existe softwares com as funcionalidades topológicas 3D (BRUGMAN, 2010).

Nos sistemas de informações territoriais, o uso de topologias para manipulação de dados espaciais começou com dados 2D, passando posteriormente para o 2,5D (coordenadas XY mais um atributo) e atualmente abrangem dados 3D e 4D (coordenadas XYZ e o tempo, sendo a quarta dimensão) (STOTER; VAN OOSTEROM, (2010). Essa evolução do uso em mais de duas dimensões nos sistemas de informações territoriais foi bastante discutida pelos autores da área (Stoter e Zlatanova, 2003). Tais evoluções nos SIT's ocorreram, essencialmente, devido a demanda de armazenamento e recuperação dos objetos do mundo real, para os mais diversos fins, dentre eles, o Cadastro 3D (LEMMEN; VAN OOSTEROM, 2003).

No sentido de identificar quais objetos 3D a serem utilizados para representar o mundo real e como representa-los, Billen e Zlatanova (2003), definem quatro tipos de grupos de objetos básicos para essa finalidade: objetos jurídicos (ex. individuais, institucionais); objetos topográficos (ex. construções, estradas, redes públicas); objetos funcionais (ex. limites administrativos); e objetos abstratos (ex. taxas, ações, rendimentos). De acordo com HOLZSCHUH et al. (2010), essas estruturas são suportadas pela maioria dos bancos de dados espaciais (ex. Oracle Spatial e PostGIS), assim como, seus relacionamentos entre objetos bidimensionais

#### 4.1 RELACIONAMENTOS TOPOLÓGICOS

Os relacionamentos topológicos podem ser definidos com base em um modelo, chamado matriz de 4-interseções, que considera oito relações topológicas binárias, representando a interseção entre a fronteira e o interior de duas geometrias (DAVIS JR; QUEIROZ, 2005). Egenhofer (1989) apresentou uma definição formal para a matriz de 4-interseções, que considera oito relações topológicas binárias, representando a interseção entre a fronteira e o interior de duas geometrias e suas relações: disjunção (*Disjoint*), adjacência (*Meet*), contido (*Contains*), coberto (*Covers*), igualdade (*Equal*), sobreposição (*Overlap*), interno (*Inside*) e coberto por (*CoverBy*) (Figura 6).

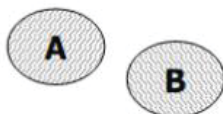
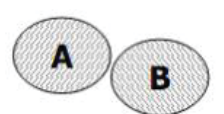
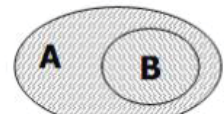
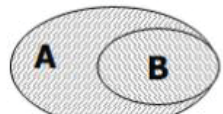

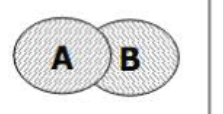


 $\begin{matrix} & \partial B & B^\circ \\ \partial A & \begin{pmatrix} \emptyset & \emptyset \end{pmatrix} \\ A^\circ & \begin{pmatrix} \emptyset & \emptyset \end{pmatrix} \end{matrix}$ <p><b>disjunção</b></p>	 $\begin{matrix} & \partial B & B^\circ \\ \partial A & \begin{pmatrix} \neg\emptyset & \emptyset \end{pmatrix} \\ A^\circ & \begin{pmatrix} \emptyset & \emptyset \end{pmatrix} \end{matrix}$ <p><b>adjacência</b></p>	 $\begin{matrix} & \partial B & B^\circ \\ \partial A & \begin{pmatrix} \emptyset & \emptyset \end{pmatrix} \\ A^\circ & \begin{pmatrix} \neg\emptyset & \neg\emptyset \end{pmatrix} \end{matrix}$ <p><b>contido</b></p>	 $\begin{matrix} & \partial B & B^\circ \\ \partial A & \begin{pmatrix} \neg\emptyset & \emptyset \end{pmatrix} \\ A^\circ & \begin{pmatrix} \neg\emptyset & \neg\emptyset \end{pmatrix} \end{matrix}$ <p><b>coberto</b></p>
 $\begin{matrix} & \partial B & B^\circ \\ \partial A & \begin{pmatrix} \neg\emptyset & \emptyset \end{pmatrix} \\ A^\circ & \begin{pmatrix} \emptyset & \neg\emptyset \end{pmatrix} \end{matrix}$ <p><b>igualdade</b></p>	 $\begin{matrix} & \partial B & B^\circ \\ \partial A & \begin{pmatrix} \neg\emptyset & \neg\emptyset \end{pmatrix} \\ A^\circ & \begin{pmatrix} \neg\emptyset & \neg\emptyset \end{pmatrix} \end{matrix}$ <p><b>sobreposição</b></p>	 $\begin{matrix} & \partial B & B^\circ \\ \partial A & \begin{pmatrix} \emptyset & \neg\emptyset \end{pmatrix} \\ A^\circ & \begin{pmatrix} \emptyset & \neg\emptyset \end{pmatrix} \end{matrix}$ <p><b>interno</b></p>	 $\begin{matrix} & \partial B & B^\circ \\ \partial A & \begin{pmatrix} \neg\emptyset & \neg\emptyset \end{pmatrix} \\ A^\circ & \begin{pmatrix} \emptyset & \neg\emptyset \end{pmatrix} \end{matrix}$ <p><b>coberto por</b></p>

FIGURA 6 - MATRIZ DE 4-INTERAÇÕES PARA RELAÇÕES ENTRE DUAS REGIÕES

FONTE: DAVIS JÚNIOR E QUEIROZ (2005)

Com o intuito de se adicionar a informação referente à terceira dimensão nos objetos relacionados, autores como Clementini et al. (1993), Zlatanova (2000), baseados no modelo de 4-Interações, extrapolaram para o 3D, demonstrando várias possibilidades de relacionamentos multidimensionais (1, 2 e 3 dimensões) entre objetos simples.



Para definir relacionamentos topológicos entre geometrias com estruturas complexas, como regiões com ilhas e separações, é necessário estender a matriz de 4-interseções para também considerar o exterior de uma geometria (Engenhofer e Herring, 1991<sup>7</sup>, *apud* Davis Júnior e Queiroz, 2005). Este novo modelo é chamado de matriz de 9-interseções e, considera o resultado da interseção entre as fronteiras, interiores e exteriores de duas geometrias (DAVIS JR; QUEIROZ, 2005) (Figura 7).

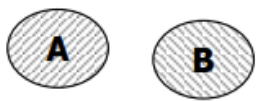
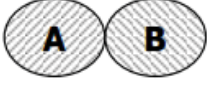


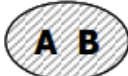



 $  \begin{array}{c}  \partial B \quad B^\circ \quad B^- \\  \partial A \begin{bmatrix} \emptyset & \emptyset & \neg \emptyset \\ \emptyset & \emptyset & \neg \emptyset \\ \neg \emptyset & \neg \emptyset & \neg \emptyset \end{bmatrix} \\  A^\circ \quad A^-  \end{array}  $ <p><b>disjunção</b></p>	 $  \begin{array}{c}  \partial B \quad B^\circ \quad B^- \\  \partial A \begin{bmatrix} \neg \emptyset & \emptyset & \neg \emptyset \\ \emptyset & \emptyset & \neg \emptyset \\ \neg \emptyset & \neg \emptyset & \neg \emptyset \end{bmatrix} \\  A^\circ \quad A^-  \end{array}  $ <p><b>adjacência</b></p>	 $  \begin{array}{c}  \partial B \quad B^\circ \quad B^- \\  \partial A \begin{bmatrix} \emptyset & \emptyset & \neg \emptyset \\ \neg \emptyset & \neg \emptyset & \neg \emptyset \\ \emptyset & \emptyset & \neg \emptyset \end{bmatrix} \\  A^\circ \quad A^-  \end{array}  $ <p><b>contido</b></p>	 $  \begin{array}{c}  \partial B \quad B^\circ \quad B^- \\  \partial A \begin{bmatrix} \neg \emptyset & \emptyset & \neg \emptyset \\ \neg \emptyset & \neg \emptyset & \neg \emptyset \\ \emptyset & \emptyset & \neg \emptyset \end{bmatrix} \\  A^\circ \quad A^-  \end{array}  $ <p><b>coberto</b></p>
 $  \begin{array}{c}  \partial B \quad B^\circ \quad B^- \\  \partial A \begin{bmatrix} \neg \emptyset & \emptyset & \emptyset \\ \emptyset & \neg \emptyset & \emptyset \\ \emptyset & \emptyset & \neg \emptyset \end{bmatrix} \\  A^\circ \quad A^-  \end{array}  $ <p><b>igualdade</b></p>	 $  \begin{array}{c}  \partial B \quad B^\circ \quad B^- \\  \partial A \begin{bmatrix} \neg \emptyset & \neg \emptyset & \neg \emptyset \\ \neg \emptyset & \neg \emptyset & \neg \emptyset \\ \neg \emptyset & \neg \emptyset & \neg \emptyset \end{bmatrix} \\  A^\circ \quad A^-  \end{array}  $ <p><b>sobreposição</b></p>	 $  \begin{array}{c}  \partial B \quad B^\circ \quad B^- \\  \partial A \begin{bmatrix} \emptyset & \neg \emptyset & \emptyset \\ \emptyset & \neg \emptyset & \emptyset \\ \neg \emptyset & \neg \emptyset & \neg \emptyset \end{bmatrix} \\  A^\circ \quad A^-  \end{array}  $ <p><b>interno</b></p>	 $  \begin{array}{c}  \partial B \quad B^\circ \quad B^- \\  \partial A \begin{bmatrix} \neg \emptyset & \neg \emptyset & \emptyset \\ \emptyset & \neg \emptyset & \emptyset \\ \neg \emptyset & \neg \emptyset & \neg \emptyset \end{bmatrix} \\  A^\circ \quad A^-  \end{array}  $ <p><b>coberto por</b></p>

FIGURA 7 - MATRIZ DE 9-INTERSEÇÕES PARA RELAÇÕES ENTRE DUAS REGIÕES  
FONTE: DAVIS JÚNIOR E QUEIROZ (2005)

Com o objetivo de contemplar, a partir da matriz de 9-interseções, a questão da multidimensionalidade em casos complexos, algumas propostas para estendê-la foram feitas (BILLEN; ZLATANOVA, 2003; KURATA, 2010). Porém, esses trabalhos resultam em modelos diferentes para representar os relacionamentos entre objetos espaciais.

<sup>7</sup> EGENHOFER, M.; HERRING, J. Categorizing Binary Topological Relationships Between Regions, Lines, and Points in Geographic Databases. Orono, ME: Department of Surveying Engineering, University of Maine, 1991.

## 4.2 MODELOS DE REPRESENTAÇÃO DE ESTRUTURAS GEOMÉTRICAS 3D

A necessidade de se utilizar diferentes tipos de modelagens justifica-se por todas as diferentes características das estruturas cadastrais 3D a serem armazenadas como, por exemplo, divisões planas e espaciais, o uso de primitivas, regras de construção, orientação e relações implícitas e explícitas (VAN OOSTEROM et al., 2002).

Com o objetivo de encontrar uma abordagem mais adequada para a representação e visualização das estruturas geométricas 3D, o campo dos Modelos Sólidos foi estudado. Na literatura referente pode-se encontrar três modelos principais, além de fazerem parte do *Industry Foundation Class* (IFC)<sup>8</sup>, que seguem: Representação por Bordas (*Boundary Representation* - B-Rep), Geometria Construtiva Sólida (*Constructive Solid Geometry* - CSG) e a Representação por varredura (*Sweep Representation*) (Figura 8). A seleção de qual estrutura topológica utilizar está intimamente ligada ao tipo de aplicação envolvida.

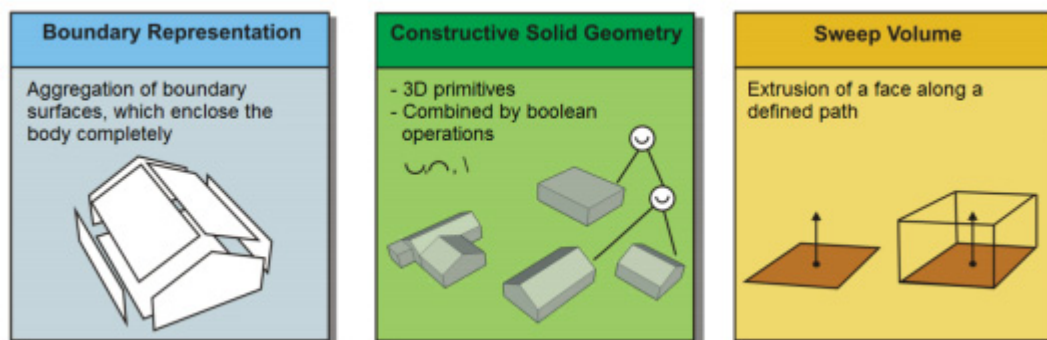


FIGURA 8 - MODELOS SÓLIDOS: REPRESENTAÇÃO POR BORDAS, GEOMETRIA CONSTRUTIVA SÓLIDA E REPRESENTAÇÃO POR VOLUME

FONTE: TOBIÁŠ (2015)

<sup>8</sup>Industry Foundation Classes Data Model: É um modelo de dados aberto, desenvolvido e gerenciado pela buildingSMART e que se tornou um padrão ISO (16739) em 1997.

#### 4.2.1 Representação por Bordas (B-Rep)

A Representação por Bordas, conhecida também pelo seu acrônimo b-rep, é um tipo de modelagem geométrica de sólidos por representação de limites. Este modelo descreve um objeto por meio das superfícies que o limitam e das arestas e vértices (geometria) que estas superfícies - ou faces – apresentam. Essas superfícies são fechadas, ou seja, são conjuntos de faces que não possuem interrupções, todas as faces são conectadas por arestas (ZEID, 1991).

O modelo B-Rep é o modelo de sólidos usado mais frequentemente para representar objetos 3D em sistemas de informações territoriais. Essa abordagem é comum de ser usada para aplicações cadastrais 3D e tem sido sugerida por diversos autores (ARENS, 2003; COORS, 2003; DE LA LOSA; CERVELLE, 1999; FOLEY et al., 1990). As implementações em 3D estão focando nos modelos topológicos 3D de representação por bordas (STOTER, 2004).

Através da orientação das faces, é possível identificar quais as superfícies que limitam os objetos, onde cada face possui um vetor normal, que aponta para fora do objeto modelado, permitindo assim obter-se uma clara separação entre interior e exterior do objeto (Figura 9) (ZEID, 1991).

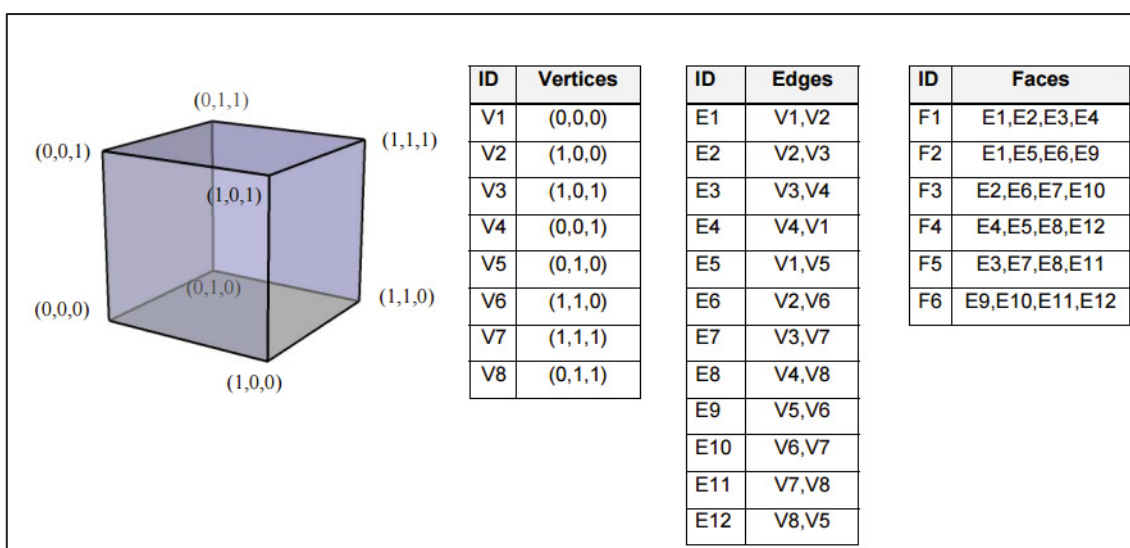


FIGURA 9 - OBJETO DEFINIDO PELO MODELO TOPOLÓGICO B-REP

FONTE: FOLEY ET AL. (1990)

Uma das vantagens de se utilizar o modelo topológico B-Rep é a construção de geometrias complexas a partir de formas simples, como superfícies poligonais planas que formam objetos poliédricos. Para Stoter e Zlatanova (2003), a principal vantagem desse modelo topológico é que o mesmo é ótimo para representar objetos do mundo real, além dos principais mecanismos de renderização serem baseados em B-Rep. Outra vantagem apresentada por Foley *et. al.* (1990), é o fato das outras abordagens mencionadas no início dessa seção serem facilmente convertidas para modelo b-rep. A Figura a seguir mostra a criação de uma pirâmide de base quadrangular utilizando o esquema de representação b-rep. A geometria é dada pelos vértices, que associados formam a topologia do objeto, ou seja, as faces limitadas pelas arestas (Figura 10).

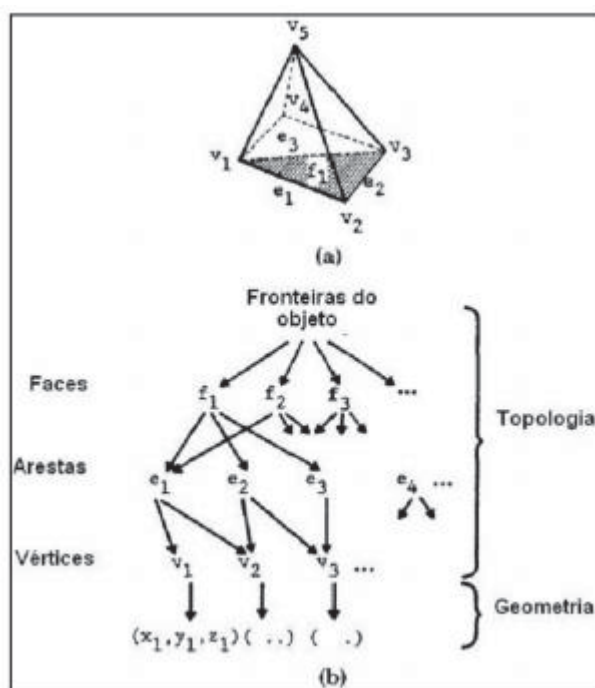


FIGURA 10 - MODELAGEM GEOMÉTRICA POR FRONTEIRAS

FONTE: ZEID (1991)

As desvantagens de se utilizar o modelo de representação de objetos 3D, de representação por bordas são, de acordo com (FOLEY et al., 1990; STOTER, J. E.; ZLATANOVA, 2003):

- a) a inserção de dados é um processo fatigante, por exemplo, diferentes tabelas precisam ser inseridas para os vértices, arestas e faces;
- b) é a abordagem mais complexa para se fazer a validação, pois face e bordas podem se interseccionar; e
- c) o modelo B-rep não é único e as restrições podem se tornar complexas de se implementarem, por exemplo, como determinar vizinhos em três dimensões.

Arens (2003) e Arens *et. Al.* (2005) mostraram como as primitivas 3D podem ser usadas em um sistema de gerenciamento de bando de dados para a representação de objetos tridimensionais complexos, por exemplo, parcelas 3D e prédios. Essa abordagem representa bem a realidade, no sentido de se adequar a percepção do usuário, por exemplo, nos prédios são representados por suas paredes e telhados. A pesquisa dos autores ainda inclui procedimentos de validação e atualização.

Ellul e Haklay (2009) apresentam um modelo modificado do B-Rep, implementando no banco de dados *Oracle Spatial* estas modificações, objetivando otimizar consultas que utilizem relacionamentos topológicos 3D baseados na matriz de 9 interações. Um exemplo da implementação da estrutura B-Rep é apresentado na figura abaixo (Figura 11):

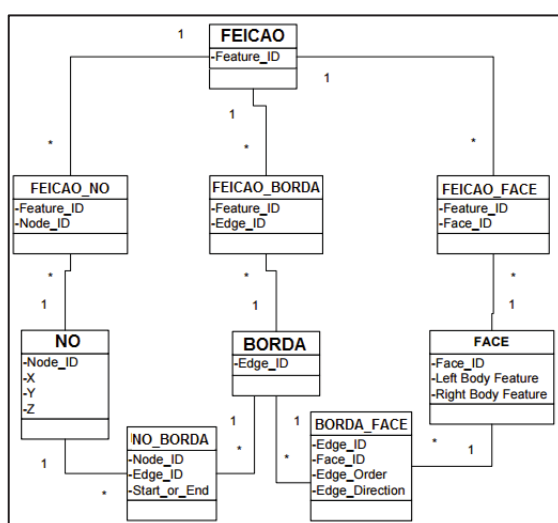


FIGURA 11 - ESTRUTURA B-REP MODIFICADA PARA MÚLTIPLAS FEIÇÕES COMPARTILHANDO AS MESMAS PRIMITIVAS

FONTE: ELLUL E HAKLAY (2009)

De acordo com Ellul e Haklay (2009), no contexto do Cadastro 3D, os objetos (feições) apresentados na figura anterior, podem representar objetos do tipo ponto, linha e polígono, a partir de primitivas utilizadas para representar os nós arestas e faces. A junção entre as primitivas é realizada nas tabelas No\_Borda e Borda\_Face. A partir desta estrutura é possível reconstruir as feições, com suas partes externas e internas. Deste modo, o modelo B-Rep pode ser utilizado na modelagem e representação de dados cadastrais 3D.

#### 4.2.2 Geometria Construtiva Sólida (CSG)

A geometria construtiva sólida é uma abordagem que utiliza primitivas simples como esferas, cilindros e cubos para a representação 3D. Esta abordagem surgiu da observação de que diversos componentes industriais eram desenvolvidos a partir da combinação de várias primitivas gráficas simples.

A combinação de diversas geometrias simples para que se possa gerar uma geometria mais complexa é feita por uma série de operadores booleanos (união, interseção e diferença) (FOLEY et al., 1990). Os operadores booleanos são armazenados nos vértices intermediários das primitivas simples. Definir um objeto utilizando esse tipo de modelagem é análogo a uma estrutura de árvore (Figura 12). O tronco representa o objeto e as folhas as primitivas. As folhas são combinadas com o tronco através dos galhos, que representam os operadores booleanos.

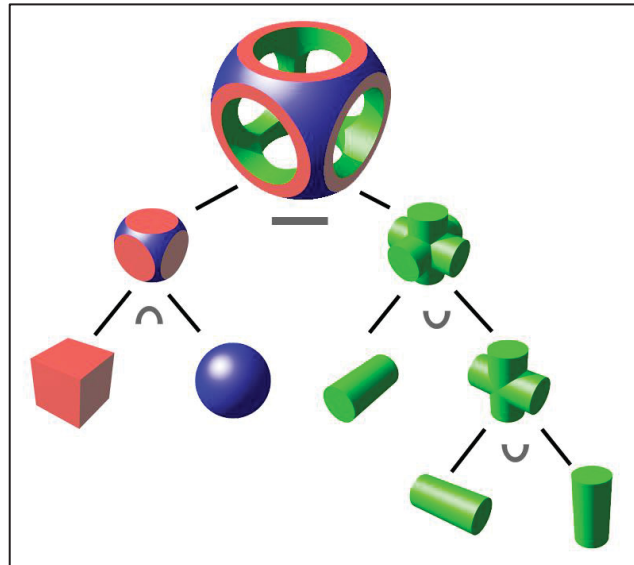


FIGURA 12 - ÁRVORE DA GEOMETRIA CONSTRUTIVA SÓLIDA

FONTE: LEWINER (2015)

A Geometria Construtiva Sólida é juntamente com a B-Rep, a abordagem mais difundida em sistemas CAD (*Computer Aided Desing*). Essa abordagem é extremamente apropriada para os ambientes CAD e possui inúmeras vantagens aqui listadas (BRENNER, 2004; SHAPIRO, 2002):

- a) Concisão e validade garantidas por definição;
- b) Estruturas de dados relativamente simples e algoritmos recursivos elegantes;
- c) Primitivas simples podem ser parametrizadas, o que permite o reutilização e coleção em bibliotecas;
- d) A estrutura de árvore CSG contém informações implícitas que podem ser usadas para diversos propósitos; e
- e) Lida com a entrada de dados mais facilmente que a abordagem de representação por bordas.

As principais desvantagens da abordagem por geometria construtiva sólida são (JARROUSH; EVEN-TZUR, 2004; SHAPIRO, 2002; STOTER, 2004):

- a) o modelo CSG não lida com a topologia;

- b) os sólidos complexos podem resultar em estruturas de árvores profundamente complexas para a modelagem do mundo real; e
- c) a falta de uma representação e parametrização explícita dos interiores dos sólidos, e particularmente de suas bordas.

Sem uma representação explícita as localizações espaciais dos pontos que compõe os sólidos são desconhecidas e, portanto, os subconjuntos são representados de maneira não espacialmente endereçável. Isso implica, por exemplo, em informações de atributos que não podem ser referenciadas constantemente aos subconjuntos.

#### 4.2.3 Representação por Varredura (*Sweep Representation*)

A representação por varredura ou representação por volume, ocorre quando um objeto se estende ao longo de uma trajetória, o que resultará em um novo objeto. A forma mais simples de representação por varredura é a feita com uma linha ou superfície de maneira a formar um volume (extrusão). Esse tipo de varredura é conhecido como varredura translacional. A varredura rotacional é definida quando a rotação da superfície ou linha acontece em um dos eixos (SHAPIRO, 2002) (Figura 13).

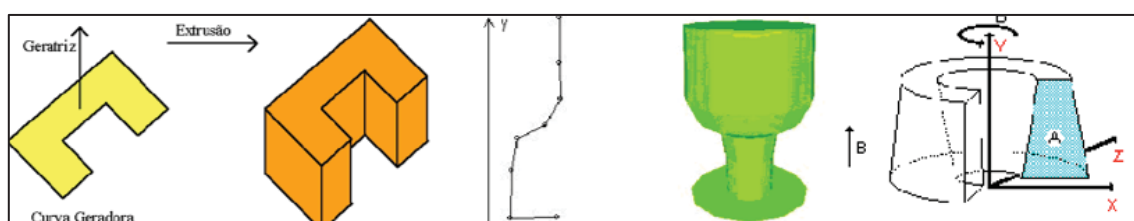


FIGURA 13 - REPRESENTAÇÃO POR VOLUME TRANSLACIONAL E ROTACIONAL

FONTE: NUNES (2010)

De acordo com Shapiro (2002), a representação por varredura provou-se muito útil em aplicações de engenharia e industriais. Por exemplo, esse tipo de modelagem é prático e, também, eficiente para modelar seções cruzadas de



partes mecânicas e para simular materiais removidos por operações de corte e extrusão.

A principal vantagem das representações por varredura é que elas são matematicamente concisas e relativamente fáceis de se entender e usar (SHAPIRO, (2002).

As principais desvantagens são (FOLEY et al., 1990):

- a) as formas sólidas são limitadas a objetos de simetria translacional ou rotacional;
- b) a não unicidade das formas modeladas pela representação por varredura;
- c) em geral, varreduras são particularmente difíceis de se modelar eficientemente. Por exemplo, cálculo de volumes podem ser complicados dado que as trajetórias ou os objetos podem se interseccionar; e
- d) de modo geral, as modelagens por varreduras nem sempre geram volumes.

A representação por varredura é um método natural de se construir diferentes objetos, apesar das dificuldades no cálculo do volume e no fechamento dos sólido. Muitos sistemas de modelamento permitem ao usuário construir objetos utilizando essa estrutura, porém, armazenando-as conforme um dos outros métodos (FOLEY et al., 1990).

## 5. BANCO DE DADOS

Os Banco de Dados (BD) e os Sistemas de Gerenciamento de Banco de Dados (SGBD) se tornaram componentes essenciais na sociedade moderna. Um BD, como o próprio nome sugere, é projetado, construído e constituído por dados que atendem a um propósito determinado. Em outras palavras, possui algumas fontes das quais os dados são derivados, com alguns níveis de interação com os eventos do mundo real e um público efetivamente interessado em seus conteúdos (ELMASRI; NAVATHE, 2005).

Um Sistema de Banco de Dados, na concepção de Date (2008), é considerado como sendo um sistema computadorizado com a finalidade geral de armazenar informações e permitir que os usuários as busque e atualize sempre que desejado. Um Sistema De Banco de Dados envolve quatro componentes principais: dados, equipamentos (*hardware*), programas (*software*) e usuários. Os dados são armazenados em um banco de dados, que é conceituado como um conjunto de dados devidamente relacionado.

A elevada quantidade de dados a serem gerenciados em diversos sistemas fez com que houvesse o surgimento dos Sistemas Gerenciadores de Banco de Dados (SGBD). De acordo com Silbershatz, et. al. (2006), esses sistemas podem ser entendidos como softwares de propósitos geral que facilitam os processos de construção, manipulação e compartilhamento de bancos de dados entre vários usuários e aplicações, com o intuito de acomodar um ambiente tanto conveniente quanto eficiente para a recuperação e armazenamento das informações no banco de dados.

### 5.1 TIPOS DE BANCO DE DADOS

Um modelo de dados pode ser entendido como um conjunto de conceitos utilizados para descrever a estrutura de um banco de dados em nível conceitual, lógico ou físico, buscando representar a realidade de um modo abstrato e servindo como passo intermediário entre o mundo real e a

implementação computacional técnica. Entre os modelos de banco de dados que podem ser encontrados atualmente, existem três tipos, o modelo relacional, o modelo orientado a objetos e o modelo objeto-relacional (SILBERSCHATZ et al., 2006).

Dado que o objetivo e as delimitações desse projeto são relacionados ao tipo de banco de dados objetos-relacionais, somente esse assunto será abordado a seguir. Mais informações a respeito dos outros tipos de banco de dados podem ser consultadas em Silberschatz, et. al. (2006), Damas (2007), Machado (2004), Elmasri e Navathe (2005).

#### 5.1.1 Banco de Dados Objeto Relacional

Os Banco de Dados do tipo Objeto-Relacional surgiram com o intuito de agregarem na mesma infraestrutura o melhor dos dois mundos (relacional e orientado a objetos). Pode-se dizer que os bancos de dados desse tipo são híbridos, pois não são necessariamente uma nova tecnologia, mas sim uma combinação de tecnologias já existentes.

De acordo com Date (2008), os sistemas gerenciadores de banco de dados que utilizam esse tipo de banco de dados tratam-se normalmente de sistemas de gerência de banco de dados relacional cujas finalidades foram estendidas de maneira a suportar o armazenamento e o processamento de objetos, que passam a ser tratados como se fosse um tipo de dado do próprio banco de dados.

O tipo de banco de dados objeto-relacional integra na sua estrutura o processamento robusto e transações e o alto desempenho no acesso aos dados que herdou do modelo relacional e a flexibilidade do orientado ao objeto (HOLZSCHUH et al., 2010).

Um Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados do tipo Objeto-Relacional utiliza um modelo de dados que incorpora características orientadas a objeto em um SGBD relacional, particularmente a capacidade de armazenar estruturas de dados complexas, heranças e polimorfismo (HOLZSCHUH et al., 2010).

As informações continuam a ser armazenadas em tabelas, mas pode incluir estruturas de dados mais ricas do que as habituais, chamadas de Tipos Abstratos de Dados. Um Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados do tipo Objeto-Relacional, ao permitir que essas estruturas sejam incluídas em suas tabelas, necessita de uma extensão da linguagem SQL para a sua representação (DATE, 2008; HOLZSCHUH et al., 2010).

#### 5.1.1.1 A Linguagem de Consulta Estruturada (SQL)

A linguagem de consulta estruturada (SQL) foi desenvolvida originalmente no início dos anos 70, na IBM para os projetos SEQUEL-XRM e System-R (1974 - 1977). A linguagem SQL tinha o objetivo de demonstrar a viabilidade da implementação do modelo relacional proposto por Edgar Frank Codd.

A linguagem de consulta estruturada é um grande padrão de banco de dados. Isto decorre da sua simplicidade e facilidade de uso. Ela se distingue das outras linguagens de consulta a banco de dados no sentido em que uma consulta que utiliza as declarações SQL especifica a forma do resultado e não o caminho para chegar a ele.

Mesmo que o SQL tenha sido criada inicialmente pela IBM, outros tipos de linguagens que conversavam com a SQL foram desenvolvidos por diversos outros produtores. Essa expansão e popularização trouxe a necessidade da criação de um padrão para essa linguagem. Essa tarefa, de criação de um padrão, foi desenvolvida pela ANSI (American National Standards Institute/ Instituto Nacional Americano de Padrões) em 1986 e pela ISO em 1987 (AMORIM; DE SOUZA; YAMASHITA, 2009)

A SQL continuou a evoluir em respostas às mudanças nas necessidades da área de banco de dados, sendo que a versão SQL:2011 é a sétima e mais recente versão no momento.

As principais características da linguagem SQL são (FRANCO; LEME, 2005):

- A Linguagem de Manipulação de Dados (DML – Data Manipulation Language)
- A Linguagem de Definição de Dados (DDL – Data Definition Language)
- Gatilhos e Restrições Avançadas de Integridade
- SQL dinâmico e embutido.
- Execução Cliente-Servidor e Acesso Remoto ao Banco de Dados
- Gerenciamento de Transações
- Segurança
- Alguns recursos avançados como: suporte a orientação a objetos, consultas recursivas, consultas de suporte a decisão, data-mining, dados espaciais, textos e XML.

## 5.2 LINGUAGEM DE MODELAGEM UNIFICADA (UML)

A Linguagem de Modelagem Unificada (UML), é uma linguagem para visualização, especificação, construção e documentação de artefatos de um software em desenvolvimento. A UML tem o intuito de prover um padrão para a visualização do desenvolvimento de sistemas.

Essa linguagem começou a ser definida, em 1994, a partir de uma tentativa de Jim Rumbaugh e Grady Booch de combinar dois métodos populares de modelagem orientada a objeto: Booch e OMT (Object Modeling Language). Assim surgiu em outubro de 1995, o esboço da versão 0.8 do *Unified Process* - Processo Unificado. Mais tarde, Ivar Jacobson, o criador do método Objectory, uniu-se aos dois, para a concepção da primeira versão da linguagem UML.

Fundamentalmente, a UML permite que os desenvolvedores visualizem os produtos de seus trabalhos em diagramas padronizados. Junto com uma notação gráfica, a UML também especifica significados, isto é, semântica. Pode-se dizer que é uma notação independente de processos.

A UML é composta por muitos elementos de modelo que representam as diferentes partes de um sistema de software. Os elementos UML são usados para criar diagramas, que representam uma determinada parte, ou um ponto de vista do sistema

A UML não é um método de desenvolvimento, o que quer dizer que essa linguagem não transmite uma sequência de passos a seguir ou como desenhar o seu sistema, porém auxilia, de maneira padronizada, na visualização do desenho e na comunicação entre os objetos.

A UML, também não é, de acordo com ALHIR (1999):

- Uma linguagem de programação visual, mas uma linguagem de modelagem visual;
- Uma ferramenta ou repositório de especificação, mas sim uma linguagem de especificação;
- Um processo, mas permite o processamento.

A Linguagem de Modelagem Unificada, foi aprovada como um padrão pela *Object Management Group* (OMG), um consórcio internacional de empresas que define e ratifica padrões na área de Orientação a Objetos, em 1997. Com o passar das décadas ela foi sendo aprimorada com algumas pequenas modificações, e em 2002, surgiu a UML 2, considerada uma maior modificação na estrutura da linguagem.

### 5.2.1 Modelagem conceitual de dados geográficos

A evolução tecnológica e computacional e especialmente a evolução dos bancos de dados fez com que surgisse a necessidade de novos modelos que permitam modelagem de dados geográficos. Alguns desses modelos são oriundos de modelos utilizados para modelagem de dados alfanuméricos, como por exemplo o OMT, com algumas modificações para abordarem dados geográficos, como por exemplo, Geographic Object Oriented Analysis –

GeoOOA, Object Modeling Technique for Geographic Applications - OMT-G, Modeling of Application, UML-GeoFrame .

Sampaio (2009) cita algumas vantagens de se usar a modelagem conceitual em aplicações que manipulam dados espaços-temporais. Os usuários podem expressar o seu conhecimento sobre o sistema utilizando conceitos próximos à sua realidade e independentes de conceitos computacionais. O resultado da modelagem se mantém válido em caso de mudanças tecnológicas, devido a mesma, ser independente da implementação do sistema. Finalmente, é colocado que a modelagem conceitual, devido a sua legibilidade, favorece a troca de informações referentes ao projeto.

Entre os modelos existentes e citados anteriormente, pode-se destacar o modelo OMT-G por ser o utilizado pela Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE), e o modelo UML-*GeoFrame* por ser o modelo utilizado pela ferramenta ArgoCASEGEO, que foi a escolhida para se desenvolver o modelo conceitual neste trabalho. Aqui será somente abordado o modelo utilizado pela ferramenta anteriormente, mais informações sobre os outros modelos podem ser consultadas em (LISBOA FILHO et al., 2004).

#### 5.2.1.1 Modelo UML-*Geoframe*

O modelo UML-*Geoframe* baseia-se na linguagem UML e no framework *GeoFrame*. De acordo com Lisboa Filho et. al. (2004), o *GeoFrame* é um framework conceitual que, por meio do diagrama de classes auxilia na modelagem de dados geográficos. Isto é, permitindo a modelagem de dados geográficos e dados convencionais, devido à combinação da linguagem UML e do *GeoFrame*. Esse tipo de modelagem tem como base os estereótipos para descrição da modelagem geográfica.

## **6. CASO DE ESTUDO DA UNIDADE DE PROPRIEDADE 3D SELECIONADA**

Neste capítulo será apresentado a unidade de propriedade 3D no município de Curitiba, selecionada para a realização do estudo de caso.

Dentre as diversas e distintas situações de Propriedades 3D que podem ser encontradas na região urbana do município de Curitiba, como casos de passarelas subterrâneas de pedestres interligando os terminais do transporte público, casos de galerias comerciais no nível ou não da superfície, o caso escolhido para esse estudo levou em consideração a situação de propriedade 3D que tivesse um impacto econômico, comercial, histórico e cultural para a área urbana do município.

Considerando essas características a Unidade de Propriedade 3D escolhida para a realização das atividades foi a Unidade de Propriedade 3D do Shopping Mueller.

O centro comercial mais antigo de Curitiba está localizado em seu coração, no bairro Centro Cívico (Figura 14), além de fazer divisa com o bairro São Francisco (Figura 15). Está situado nos limites das ruas Mateus Leme, Barão de Antonina, Inácio Lustosa e a Avenida Cândido de Abreu (Figura 16).



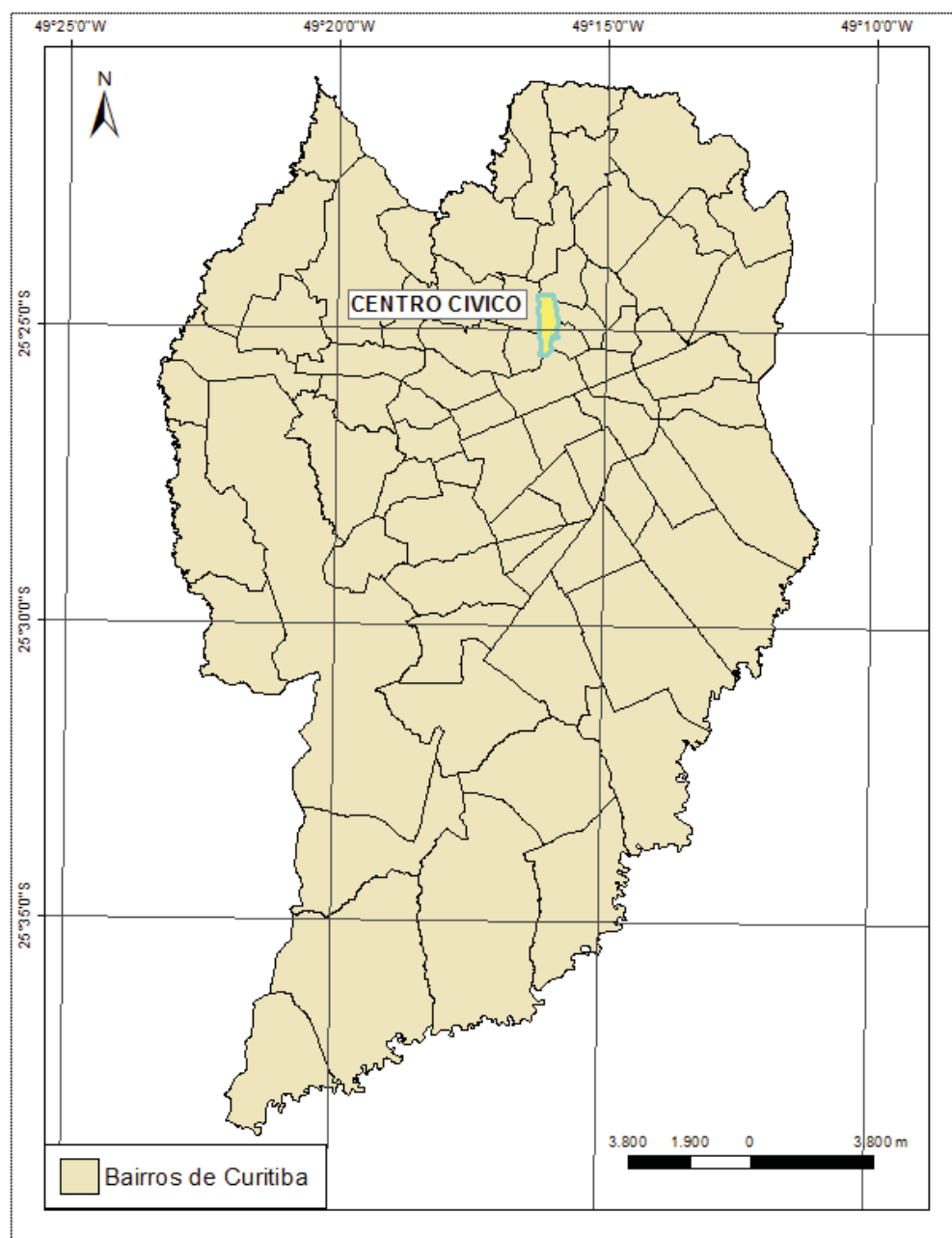


FIGURA 14 - MAPA DA SITUAÇÃO DO CASO ESCOLHIDO

FONTE: O AUTOR (2015)

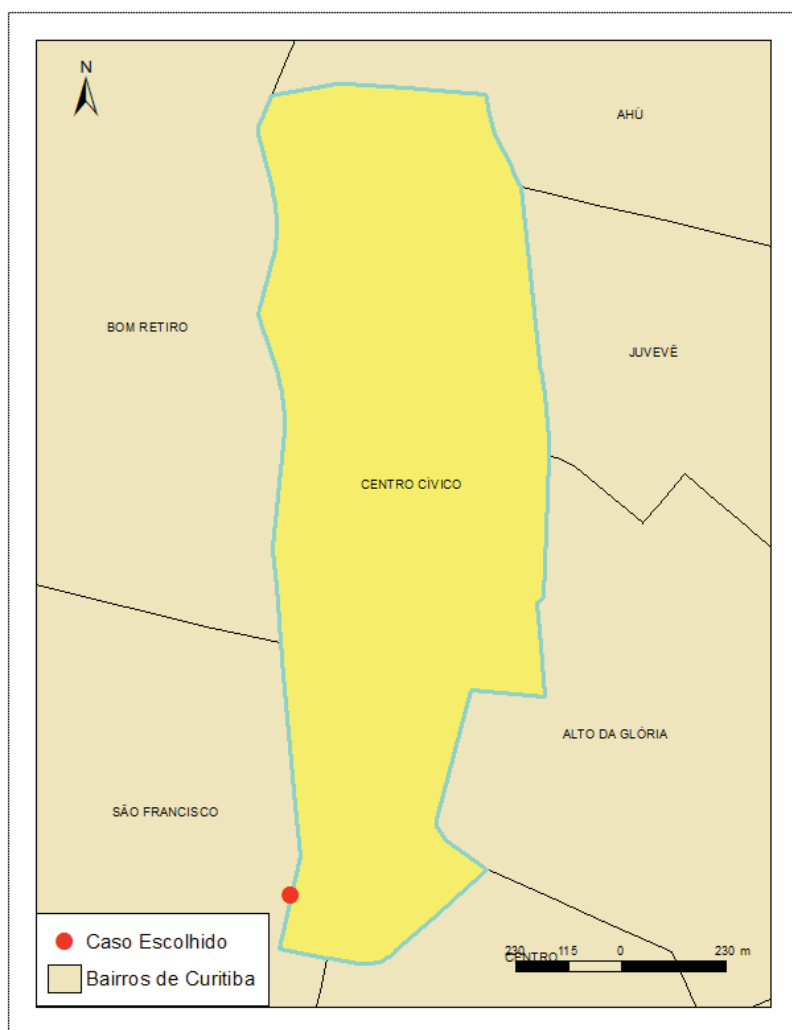


FIGURA 15 - LOCALIZAÇÃO DO SHOPPING MUELLER

FONTE: O AUTOR (2015)

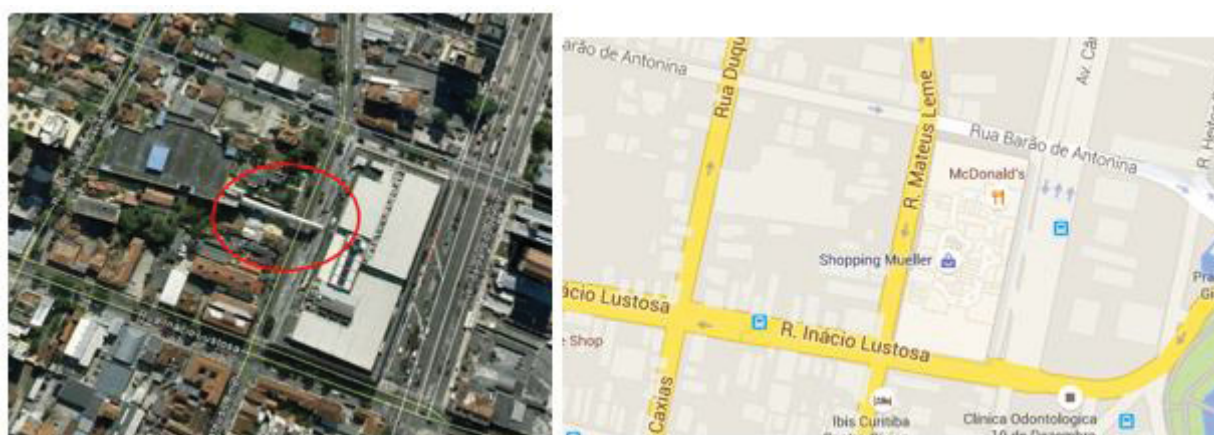


FIGURA 16 - LOGRADOUROS LIMÍTROFES DO CASO ESCOLHIDO

FONTE: O AUTOR (2015)

## 6.1 O SHOPPING MUELLER

O shopping Mueller, foi inaugurado em 1983 e foi fundado onde, em tempos remotos, funcionara a Metalúrgica Mueller conhecida como “fábrica dos irmãos Mueller”. A metalúrgica Mueller abriu suas portas em 1885, sob o comando do suíço Gottlieb Mueller, a qual teve êxito durante o período da Ditadura Militar e sua derrocada em 1979, quando a mesma teve que sair do bairro centro por determinação de um plano diretor que proibira fábricas na região. Assim, em 1983, a antiga metalúrgica transformou-se no primeiro shopping center de Curitiba.

O primeiro centro comercial da capital desde sua inauguração sofreu duas revitalizações: em 1997 e em 2004, quando teve a implantação das salas de cinema da rede Cinemark (GELINSKI, 2003).

Na revitalização mais recente, o shopping passou por um plano de expansão que estava imbuído de inserir em suas instalações o conceito multiplex de exibição de filmes, juntamente com essa atração artística o shopping ganhou nova atração arquitetônica, a instalação de passarelas suspensas com esteiras rolantes.

Para a implementação das novas salas de cinema tiveram que ser considerados dois fatores condicionantes: devido ao fato de ser um prédio inserido na categoria de unidade de preservação (UIPs), a prefeitura municipal estabeleceu normas para que haja preservação da sua fachada e por isso ela não pode ser alterada. O outro fator foi que o IPPUC, órgão que monitora as UIPs, prescreve algumas regras de restauro para esses tipos de construções, sendo uma delas, que as interferências construtivas não copiem a arquitetura do prédio, devendo, segundo eles, haver contraposição arquitetônica.

A solução encontrada, respectivamente aos dois fatores impostos, pelo arquiteto Adolfo Sakaguti e seus colaboradores Celso Yabiku e Alexandre Cirino Santos, foi a inutilização do estacionamento do shopping, localizado no piso G3, para a construção das salas de cinema e a construção de um edifício-garagem que suprisse e aumentasse o número de vagas e a interligação desses espaços por meio de uma passarela. O contraponto arquitetônico, entre os séculos 19 e 21, é revelado pelas linhas futurísticas compostas por elementos metálicos e

panos de vidros que revestem o edifício-garagem e a passarela suspensa (Figura 17) (GELINSKI, 2003).



FIGURA 17 - CONTRAPONTO ARQUITETÔNICO ENTRE PRÉDIO HISTÓRICO E O NOVO PRÉDIO

FONTE: O AUTOR (2014)

## 6.2 A PASSARELA SUSPENSA

Instalada sobre a rua Mateus Leme, divisa entre os bairros Centro Cívico e São Francisco, a passarela é composta por uma estrutura metálica e uma vista panorâmica e está suspensa a 8,50 metros do nível do logradouro, compondo a paisagem histórica do shopping como um contraponto arquitetônico.

Antes de ser aprovado, o projeto final da passarela suspensa, foram analisados outros projetos, entre eles, o de uma via subterrânea, que foi descartado devido à infraestrutura de bens públicos, como eletricidade, esgotos e canais pluviais, que estão localizados abaixo desse logradouro. Após isso, a seguinte etapa foi a elaboração de um anteprojeto submetido ao IPPUC e enviado à Câmara Municipal. O projeto foi aprovado com base Lei Municipal Ordinária 10478/2002, que será comentada posteriormente e que concede o direito de uso do espaço aéreo.

A passarela elevada foi instalada, considerando o declive que havia entre os dois prédios, shopping e edifício-garagem, a ser ajustado. O nível G2, do Shopping Mueller foi escolhido para a implantação da passarela, como um ponto estratégico, já que, além de atender todas as premissas, dá acesso às

duas salas de cinemas, aos pisos de comércio e à praça de alimentação. Do lado oposto, ao sair se retirar do shopping pela passarela, o cliente é conduzido ao quarto piso do edifício-garagem (GELINSKI, 2003).

As esteiras rolantes trabalham em sentidos opostos, para amenizar e tornar agradável o percurso dos pedestres até o shopping ou o estacionamento. Elas foram instaladas por uma equipe que reuniu técnicos brasileiros, austríacos e suíços. O tratamento térmico também foi um ponto relevante para o conforto do usuário. Como solução para o isolamento térmico foram empregadas portas automáticas para não haver perda de calor. Na parte superior a passarela é interrompida por uma canaleta técnica de quarenta centímetros de profundidade, que percorre toda a extensão do tubo componente que reveste a passarela. O seu acabamento é na forma cilíndrica, com o fechamento da cobertura projetando-se para a parte da lateral (Figura 18) (GELINSKI, 2003).



FIGURA 18 - DETALHES TÉCNICOS DA PASSARELA SUSPensa DO SHOPPING MUELLER  
FONTE: O AUTOR (2015)

### 6.3 A LEI Nº 10.478 DE 2002

A lei 10.478 de 18 de junho de 2002, aprovada pela Câmara Municipal de Curitiba, é a norma que autoriza o poder executivo a outorgar concessão de direito real de uso de espaço aéreo às empresas proprietárias do Shopping Mueller (COMBRASHOP - Companhia Brasileira de Shopping Centers S/A e

CASC - Administradora de Shopping Centers S/A) para construção de passagem suspensa, para uso exclusivo de pedestres, sobre o nível da rua Mateus Leme, interligando as edificações existentes sobre os imóveis que especifica, além de dar outras providências.

Em seu texto está colocado que a outorga do direito real de uso do espaço aéreo fica sob o poder das concessionárias referidas anteriormente e que a passarela fará a interligação entre as edificações que correspondem aos imóveis que compõe o Shopping Mueller.

Essa norma regulatória aborda aspectos sobre o prazo de concessão, prorrogação de prazo, sobre a cargo de qual empresa ficará o encargo de lavrar o contrato de concessão de Uso, além de fornecer outras informações.

Em seu artigo terceiro, parágrafo único, a lei roga sobre a altura livre mínima da passagem suspensão que foi atribuída no valor de 8,97m (oito metros e noventa e sete centímetros) acima do nível do passeio até ao ponto inferior da passagem suspensa. Em seu artigo quarto é previsto o valor a ser recolhido, pelas concessionárias, a título de contraprestação. Esse valor é resultante da fórmula  $AP \times VM$ , em que:

AP = a área em projeção da estrutura; e

VM = valor de mercado do metro quadrado estabelecido para os imóveis localizados na mesma zona urbana onde a passagem suspensa será implantada

Analisando essa normativa, é possível observar que não existe maiores informações referentes ao cadastro, do que essas citadas anteriormente, ou seja somente em relação à concessão do direito de uso do espaço aéreo de uma via pública, para empresas do setor privado; e como é o feito o valor da tributação da projeção dessa estrutura sobre o logradouro. Para mais detalhes sobre essa Lei consultar o Anexo A.



## 7. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são descritos os materiais e métodos utilizados neste trabalho. Entre os materiais, são descritos os softwares e configurações dos computadores empregados durante a realização desse trabalho. Na seção dos métodos é apresentada a metodologia e os procedimentos técnicos realizados para se alcançar os objetivos propostos.

### 7.1 MATERIAIS

Para a execução das atividades propostas neste projeto, foram utilizados os seguintes softwares

- Sistema de Informações Geográficas ArcGIS 10.1 para Desktop
- Google Earth Pro, versão 7.1.2.2041;
- SketchUp Make 2015, versão 15.0.9350 64 bits,
- ArgoCASEGEO versão 3.0

#### 7.1.1 O software ArgoCASEGEO

O software ArgoCASEGEO é uma ferramenta CASE (*Computer-Aided Software Engineering*) de modelagem de banco de dados de código aberto e tem base no modelo conceitual UML-GeoFrame (seção 7.2.1.1), que é específico para aplicações em Sistemas de Informações Geográficas. A ferramenta também suporta aspectos simples de modelagem temporal, bem como possibilita a geração automática de esquemas lógicos de bancos de dados, em formato *Shapefile* ou TerraLib. Um módulo de Catálogo de Padrões de Análise foi incorporado à ferramenta.

Esta ferramenta é baseada no software ArgoUML e está sendo desenvolvida pelo Departamento de Informática da Universidade Federal de Viçosa, e está disponível sob o endereço <http://www.dpi.ufv.br/projetos/argocasegeo/>.

Para a realização da modelagem faz-se essencial a compreensão do diagrama de classes oferecido pelo modelo GeoFrame, e especificado no pacote PGeoFrame. Tal diagrama é usado como base para a modelagem das classes de um domínio de aplicação, podendo ser uma aplicação geográfica. Cada tema é representado na linguagem UML por pacotes. Tais pacotes são usados para criar uma hierarquia entre os temas. Portanto, o emprego desses temas gera um esquema denominado UML-GeoFrame (Figura 19) (LISBOA FILHO et al., 2004).

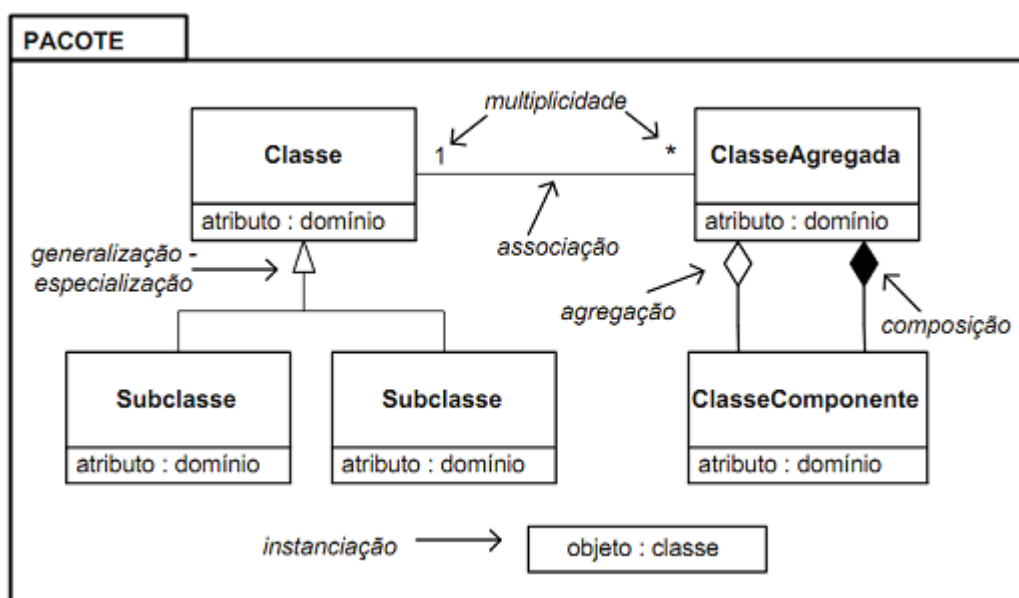


FIGURA 19 - EXEMPLO DE PACOTE NA FERRAMENTA ARGOCASEGEO

FONTE: LISBOA FILHO ET AL. (2004)

Nesse pacote coexistem duas classes de objetos, os que possuem características espaciais (*FenômenoGeográfico*) e os que não possuem características espaciais, chamados de objetos descritivos (*ObjetoNãoGeográfico*) (LISBOA FILHO et al., 2004).

O *FenômenoGeográfico* é especificado em duas categorias pelo *GeoFrame*, *ObjetoGeográfico* e *CampoGeográfico*. A forma de representação dessas divisões é feita por meio de um conjunto de estereótipos, que são



apresentados como pictogramas no canto superior direito do retângulo que indica a classe. Os esquemas representativos do *UMLGeoFrame* podem ser construídos empregando-se as ferramentas CASE compatíveis com a linguagem UML e que sejam capazes de apresentar estereótipos sob o formato de pictogramas (Figura 20) (LISBOA FILHO et al., 2004).
















<b>Fenômeno geográfico e Objeto convencional</b>	<b>Componente espacial de objetos geográficos</b>	<b>Componente espacial de campos geográficos</b>
 Objeto geográfico  Campo geográfico  Objeto não geográfico	 Ponto  Linha  Polígono  Obj. espacial complexo	 Pontos irregulares  Grade de pontos  Polígonos adjacentes  Isolinhas  Grade de células  TIN
<b>&lt;&lt;função&gt;&gt;</b> <i>função categórica</i>		

FIGURA 20 - ESTEREÓTIPOS DO MODELO UMLGEOFRAME

FONTE: LISBOA FILHO ET AL. (2004)

De acordo com LISBOA FILHO et al. (2004), em uma estrutura de cobertura categórica o espaço vem a ser classificado em categorias mutuamente exclusivas, em outras palavras, uma variável possui um valor do tipo de categoria em todos os pontos dentro de uma região.

Faz-se primordial, após a identificação do procedimento de modelagem, a definição dos parâmetros de entrada e saída disponíveis na representação do *GeoFrame*. No momento em que qualquer representação de campo ou objeto é aplicável, são utilizados termos que identificam as duas classes *ObjetoGeográfico* () e *CampoGeográfico* ()

No intuito de apresentar um catalogo de operações oferecidas pelo modelo *GeoFrame*, Lisboa Filho et. al. (2004) apresentaram um catálogo conforme o quadro a seguir:

QUADRO 1 - CATÁLOGO DE OPERAÇÕES GEOFRAME

Operação	Parâmetros de Entrada	Resultado
Seleção	Fenômeno; expressão lógica	Fenômeno
Seleção Espacial	Objeto; predicado espacial	Objeto
Seleção por Região	Fenômeno; região	Fenômeno
Classificação	Fenômeno; método	Fenômeno
Zona de Influência	Fenômeno; distância	Campo ou Polígono
Superposição	Fenômeno1; Fenômeno2 (restrição); operador booleano	Fenômeno
Diagrama Voronoi	Pontos Irregulares	PolAdjacentes
Declividade	Campo	Campo
Intervisibilidade	Campo; região; altura	Campo
Difusão	Grade Células ou Linha; origem; dominância	Grade Células ou Linha
Transformação	Fenômeno; sistema origem; sistema destino	Fenômeno
Distância	Objeto1; Objeto2	Distância
Centróide	Polígono	Ponto
Agregação	Linha ou Polígono; atributo	Linha ou Polígono
Interpolação	Fenômeno; método; parâmetros numéricos	Fenômeno

FONTE: LISBOA FILHO ET. AL, (2004)

## 7.2 METODOLOGIA

Partindo de todo embasamento teórico explanado anteriormente, começando pelo cadastro 3D; seguindo para alguns conceitos de sistemas de informações territoriais; indo para um embasamento sobre os relacionamentos topológicos e os modelos de representação de estruturas geométricas 3D; e finalizando com os conceitos de banco de dados objeto-relacionais, linguagem de consulta estruturada e linguagem de modelagem unificada e apresentado os materiais utilizados passou-se para a metodologia desenvolvida.

A metodologia adotada para a realização das atividades, nesse trabalho, foi baseada a na interoperabilidade dos materiais utilizados para o desenvolvimento das atividades. O fluxograma a seguir ilustra as etapas que seguidas para a realização das atividades (Figura 21).

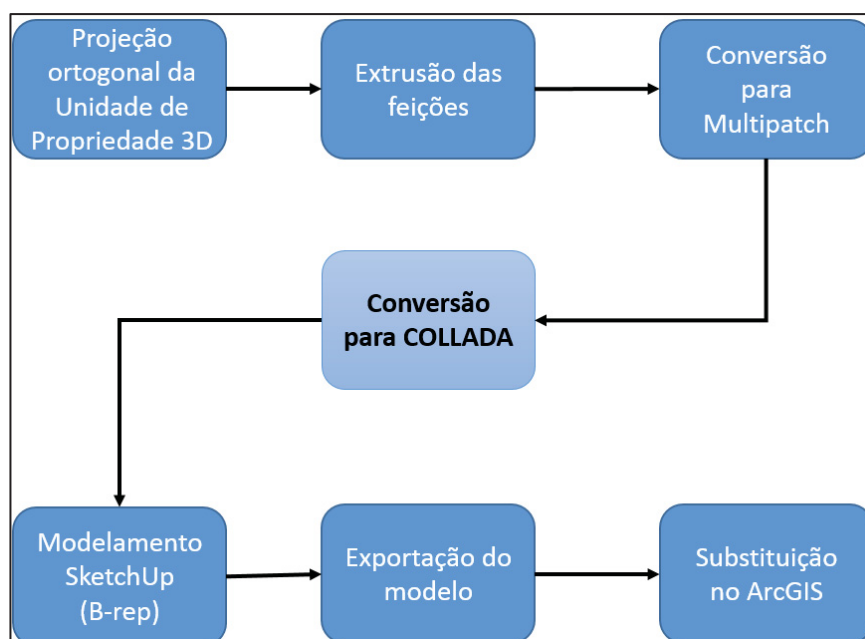


FIGURA 21 - FLUXOGRAMA DAS ETAPAS DESENVOLVIDAS

FONTE: O AUTOR (2015)

O arquivo *shapefile* contendo as informações referentes a planta cadastral bidimensional do bairro em que se encontra o Shopping Mueller foi cedido, via correio eletrônico, por parte do Departamento de Cadastro Urbano, da Secretaria Municipal de Urbanismo (SMU) da Prefeitura Municipal de Curitiba. Segundo Kruchelski (2011), as plantas cadastrais foram compostas partir da junção dos croquis cadastrais de

tributação imobiliária sobre a restituição aerofotogramétrica de 1972 na escala 1:2000. A partir da década de 80 em diante, com o advento do georprocessamento, as pranchas cadastrais foram levadas à forma digital e o resultado transformou-se na base cadastral. As pranchas cadastrais continuaram a ser atualizadas até 2005, quando somente a forma digital continuou a ser modificada. De acordo com a autora supracitada, a base cadastral está em constante mudança e aperfeiçoamento

Na figura a seguir é possível observar o recorte dos lotes cadastrados pelo Departamento de Cadastro Urbano, inseridos no bairro Centro Cívico, destacado em ciano e os eixos das vias públicas representados pela primitiva gráfica linha, em tom de cor vermelho (Figura 22).

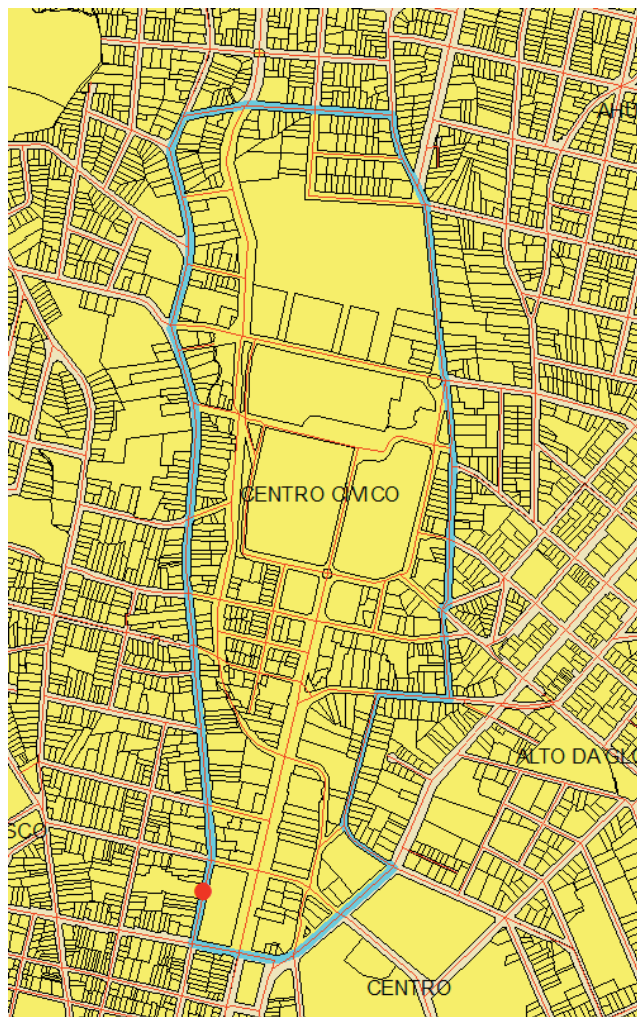


FIGURA 22 - ARQUIVO SAHPEFILE CEDIDO PELA PMC

FONTE: O AUTOR (2015)

Aproximando à vista dos lotes referentes ao Shopping Mueller, na planta Cadastral Bidimensional mantida pelo Departamento de Cadastro Urbano da PMC, pode ser observado que não há representação da construção do Shopping Mueller e muito menos da passarela suspensa para pedestres que está sobre o espaço aéreo da via pública (Figura 23).

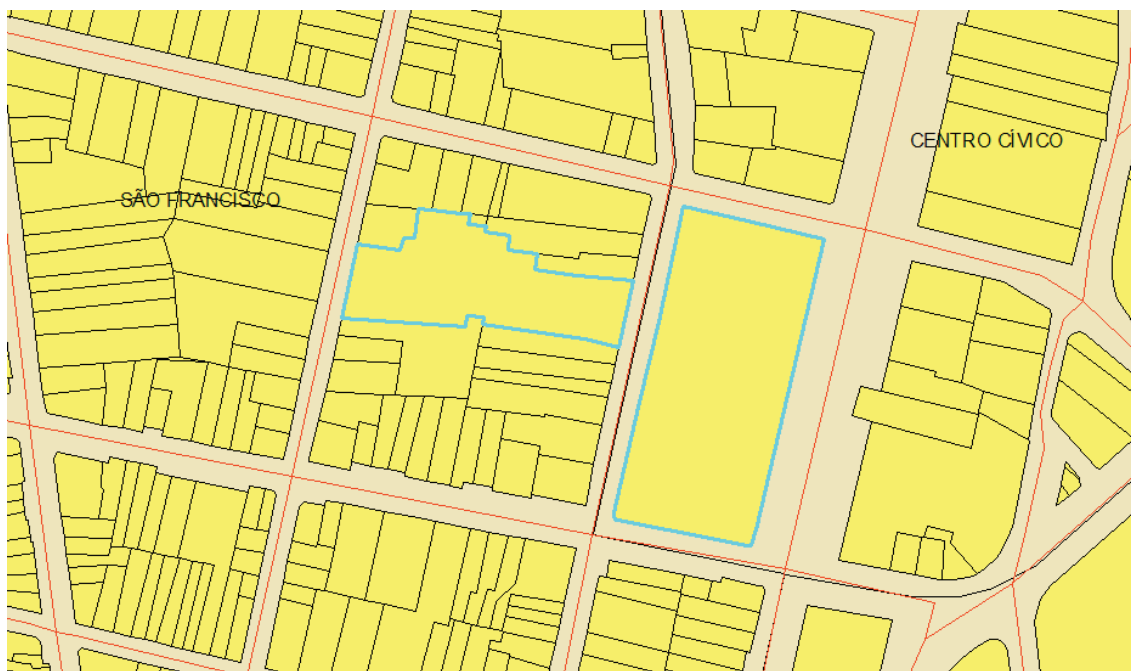


FIGURA 23 - REGISTRO CADASTRAL DOS LOTES DO CASO SELECIONADO

FONTE: O AUTOR (2015)

Para uma verificação mais aprofundada e minuciosa sobre como a passarela suspensa, um bem imobiliário privado, está mantido nos registros públicos notariais foram consultadas as matrículas de ambos os imóveis que compõem a totalidade do Shopping Mueller, o edifício referente ao centro comercial em si e o edifício utilizando como estacionamento do centro comercial.

As matrículas referentes a ambos os edifícios foram obtidas sob o Cartório do 2º Registro de Imóveis do município de Curitiba e as informações relevantes ao estudo serão aqui discutidas.

A matrícula nº 54.351 é referente ao empreendimento edificado denominado “Mueller Shopping Center de Curitiba”, caracterizando assim o centro comercial em si. Nela foi possível verificar informações referentes a área construída, o número de pavimentos, o nome e a área respectiva de cada pavimento e os proprietários do empreendimento. Ainda inseridas nas averbações dessa matrícula constam

informações sobre as locações de espaço a terceiros, bem como, informações sobre transferências de potencial construtivo e retificações necessárias. Não foi encontrado informações referentes à passarela suspensa ou qualquer possível menção referente a sua construção ou a concessão do espaço aéreo para a construção da mesma (Figura 24).



FIGURA 24 - FRAGMENTO DA MATRÍCULA 54.351

FONTE: O AUTOR (2015)

A matrícula 48.028, é referente ao empreendimento que foi destinado ao estacionamento do Shopping Mueller, cuja é possível verificar informações sobre os proprietários do lote de terreno, sobre os registros anteriores que compunham essa matrícula, bem como as informações referentes às demolições, transferência de potencial construtivo, a construção e aumento da área de benfeitoria e outras informações (Figura 25).



FIGURA 25 - FRAGMENTO DA MATRÍCULA 48.028

FONTE: O AUTOR (2015)

A averbação nº 07 (AV-07/M-48.028), de 07 de Novembro de 2005, consigna a construção do prédio de alvenaria destinado a estacionamento, situado na Rua Mateus Leme esquina com a rua Duque de Caxias, como pode ser observado na figura a seguir (Figura 26):



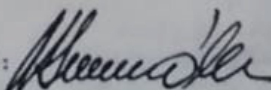
AV-07/M-48.028.- PROTOCOLO GERAL 203.114 DO LIVRO 01. DATA: 07 de novembro de 2005. - TÍTULO (CONSTRUÇÃO) - Conforme solicitado no requerimento firmado e assinado nesta cidade aos 17 de agosto de 2005, que fica arquivado nesta serventia sob n° 42.067, procedo a presente averbação para consignar que sobre o imóvel a que se refere esta matrícula foi CONSTRUÍDO um prédio em alvenaria destinado a estacionamento com a área total de 22.864,17m2, situado na Rua Mateus Leme esquina com a Rua Duque de Caxias, de acordo com Certificado de Conclusão de Obras n° 103256, expedido pela Prefeitura Municipal de Curitiba aos 14 de outubro de 2003, Certidão Negativa de Débitos (CND) do INSS sob n° 159802005-14001010, emitida aos 16 de agosto de 2005 (válida até 12.02.2006), e ART n° 2390926, expedidas pelo CREA - PR, os quais acham-se anexos ao aludido requerimento. FUNREJUS: GUIA PG DE R\$.609,00. Dou fé.  
CUSTAS: 315 VRC = R\$33,08. (ntr/jb)  
Curitiba, 11 de novembro de 2005 O REGISTRADOR: 

FIGURA 26 - AVERBAÇÃO 07 DA MATRÍCULA 48.028

FONTE: O AUTOR (2015)

Foi realizado mais investigações nessa matrícula, porém não foram encontradas informações adicionais referentes à instalação da passarela suspensa ou ao direito de construção de um bem privado sobre um espaço aéreo de uma via pública.

### 7.2.1 Projeção Ortogonal da Unidade de Propriedade 3D

Após a verificação da representação da unidade de propriedade 3D na planta cadastral bidimensional e nos serviços notariais de registro de imóveis, foi realizada a digitalização do contorno da construção da unidade de propriedade 3D. A digitalização de tais elementos foi efetuada com o auxílio de uma ortofoto, obtida por meio do seu descarregamento do sitio eletrônico do IPPUC, na seção downloads. Na figura abaixo é possível visualizar um fragmento da ortofoto utilizada para a digitalização da unidade de propriedade 3D (Figura 27).



FIGURA 27 - FRAGMENTO DA OROTOFOTO UTILIZADA

FONTE: O AUTOR (2015)

A digitalização de tais elementos foi efetuada com o auxílio de uma ortofoto, obtida por meio do seu descarregamento do sitio eletrônico do IPPUC, na seção downloads. A figura abaixo ilustra a diferença entre o lote registrado no sistema cadastral, em amarelo, mantido pela Secretaria Municipal de Urbanismo de Curitiba e a projeção ortogonal do Shopping Mueller digitalizada, em azul, necessária para o fluxo de trabalho mencionado anteriormente (Figura 28).

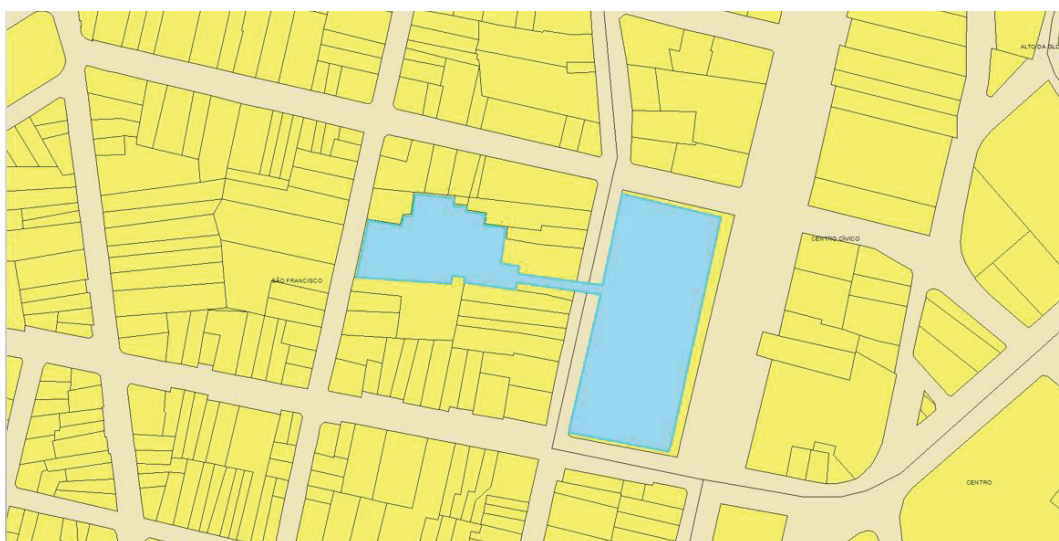


FIGURA 28 - PROJEÇÃO ORTOGONAL DO SHOPPING MUELLER

FONTE: O AUTOR (2015)



Uma vez com os dados preparados, o fluxo das atividades ocorre em função da interoperabilidade existente entre o software para criação de modelos 3D e o sistema de informação geográfica através da extensão de dados COLLADA, que será abordada mais à frente no texto. A figura abaixo ilustra esse procedimento (Figura 29):

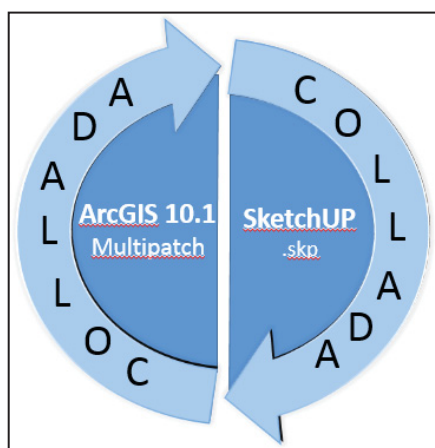


FIGURA 29 - INTEROPERABILIDADE ARCGIS E SKETCHUP

FONTE: O AUTOR (2015)

### 7.2.2 Extrusão das Feições

Após a digitalização da projeção ortogonal bidimensional da unidade propriedade 3D, a etapa seguinte é o início da modelagem tridimensional dos elementos que representarão a unidade de propriedade 3D selecionada. Para isso o aplicativo utilizado não será mais o ArcMap, e sim o ArcScene, outro software da suíte de aplicativos do ArcGIS.

Primeiramente, com os respectivos dados carregados no aplicativo ArcScene, foi realizada uma operação de extrusão. O processo de extrusão, no ArcGIS, é o processo de “esticar” um arquivo no formato *shapefile* bidimensional para criar um objeto 3D. Essa operação faz com as feições inseridas nas camadas de informações sejam “esticadas”, ou seja, transforma pontos em linhas verticais, linhas em poliedros, e polígonos em blocos. Os três tipos de geometrias básicas (pontos, linhas e polígonos) suportados pelo ArcGIS, suportam esse tipo de operação. Os outros tipos

de geometrias mais complexas, como Multipatch e as geometrias Raster não suportam esse tipo de operação.

Os diferentes tipos de geometria podem ser submetidos a dois diferentes procedimentos de extrusão: Extrusão por valores de atributos, ou a extrusão por valores constantes. A extrusão por atributos permite que as feições 2D sejam extraídas para objetos 3D de diferentes alturas, utilizando seus atributos. Esse tipo de extrusão requer que já se tenha uma altura base para as feições representadas no ambiente SIG. Por outro lado, temos a extrusão por valor constante, a qual também é suportada pelos três tipos básicos de geometria e que é baseada em um valor constante, como o próprio nome diz, para a extrusão da camada de feições.

O tipo de extrusão utilizada nesse trabalho, foi a segunda extrusão explanada anteriormente, extrusão por valor constante. A figura a seguir ilustra o resultado dessa operação aplicado as feições criadas anteriormente. A priori, o valor escolhido para a extrusão dos polígonos foi de 10 metros, entretanto outros valores poderiam ser aplicados nesse caso, o valor de 10 metros foi escolhido a critério do autor e por facilitar as operações na elaboração do modelo de representação 3D (Figura 30).

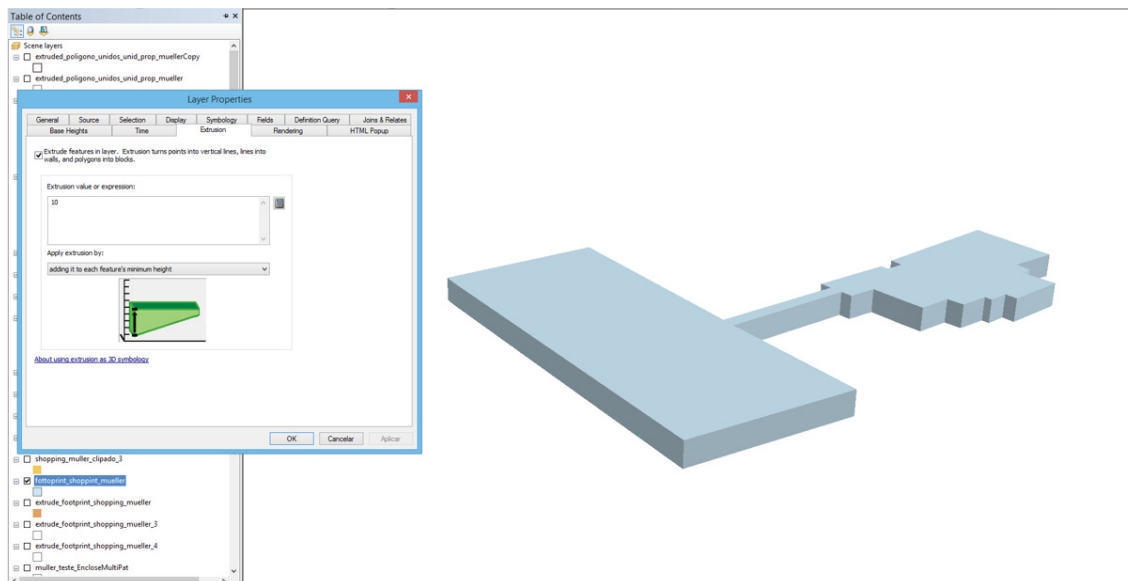


FIGURA 30 - POLIGONOS EXTRUIDOS

FONTE: O AUTOR (2015)

### 7.2.3 Conversão para Multipatch

Após a extrusão dos polígonos, é necessário converter os dados para o formato Multipatch. Essa etapa é feita com a utilização da ferramenta *Layer 3D to Feature class*, inserida na caixa de ferramenta 3D Analyst Tools, disponível sob o menu Arctoolbox. A estrutura Multipatch será discutida em seguida.

#### 7.2.3.1 A Estrutura Multipatch

Uma maneira de se representar feições 3D em sistemas de informações territoriais existente no mercado, que ganhou destaque na comunidade relacionada GIS, foi a geometria MultiPatch, que está disponível no ArcGIS. Essa geometria foi desenvolvida pela Esri em 1997 para a construção de feições 3D no ArcGIS, além de possibilitar o intercâmbio de dados com outros pacotes de softwares não relacionados a sistemas de informações geográficas, como os softwares que suportam o formato de dados COLLADA (*Collaborative Design Activity*) e o SketchUp.

A estrutura MultiPatch é um tipo especial de estrutura do ArcGIS que facilita uma abordagem poliédrica para a representação de objetos 3D (Ford, 2004). Esse tipo de *shapefile* é elaborado em cima das primitivas da *Open Graphics Library 3D* (OpenGL 3D), primitivas triangulares que armazenam feições como geometrias 3D ‘verdadeiras’ em um *geodatabase* (ESRI, 2008).

A estrutura MultiPatch foi desenvolvida para suprir as necessidades de um tipo de geometria poligonal 3D que fosse irrestrita em relação as regras válidas para as geometrias 2D. Sem a eliminação das restrições que regem as representações 2D, as visualizações em 3D não seriam possíveis. A estrutura MultiPatch supera essas limitações e vai além, provendo um melhor controle da orientação das faces dos polígonos e uma melhor definição das faces interiores dos mesmos. A estrutura MultiPatch também permite o armazenamento de imagens de textura, cor, transparência dentro da própria geometria.

Com as coordenadas tridimensionais conhecidas no mundo real, a estrutura pode ser usada para modelar dos mais simples (esferas, cubos) aos mais complexos objetos (isosuperfícies, árvores, prédios).

Uma estrutura MultiPatch pode ser vista como um contêiner para uma coleção de geometrias que representam superfícies 3D. Essas geometrias podem ser faixas de triângulos, leques de triângulos, triângulos ou anéis, e uma única estrutura MultiPatch pode conter a combinação de uma ou mais dessas geometrias (Figura 31).

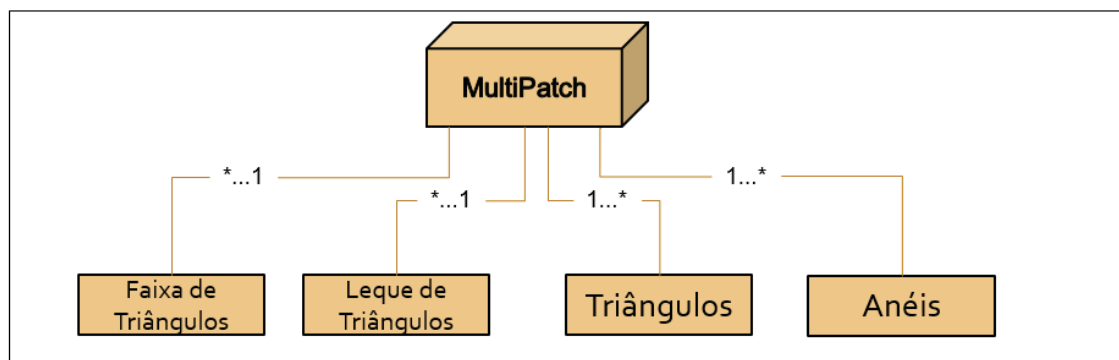


FIGURA 31 - GEOMETRIAS COMPONENTES DA ESTRUTURA MULTIPATCH

FONTE: ADAPTADO DE ESRI (2008)

A estrutura MultiPatch é composta por quatro tipos de geometrias:

- Faixas de triângulos (*triangle strips*)
- Leque de triângulos (*triangle fans*)
- Triângulos (*triangles*)
- Anéis (*rings*)

Faixas de triângulos (*triangle strips*): Essa geometria é composta por uma faixa de triângulos em que cada vértice após os dois primeiros completa um novo triângulo. Um novo triângulo é sempre formado pela conexão do novo vértice com os seus dois predecessores imediatos. Para uma faixa de triângulos com seis vértices, as faces dos triângulos são definidas pelos pontos: (0, 1, 2), (2, 1, 3), (2, 3, 4), (4, 3, 5) (Figura 32).

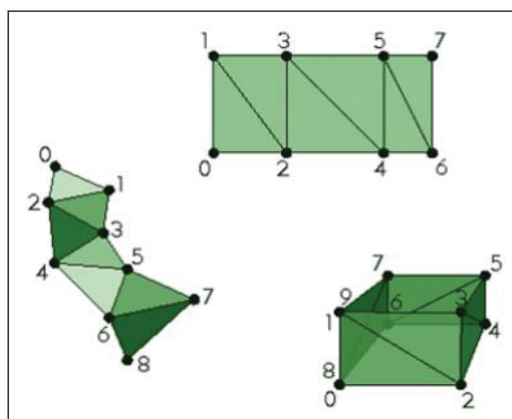


FIGURA 32 - FAIXA DE TRIÂNGULOS DA ESTRUTURA MULTIPATCH

FONTE: ESRI (2008)

Leque de triângulos: É uma malha contínua de triângulos em que o primeiro vértice define o ápice ou a origem que todos os triângulos compartilham como um ponto em comum, um pivô, e é incluído em todas as superfícies dos triângulos. Todos os vértices, após os dois primeiros, formam um novo triângulo. Os novos triângulos são formados conectando o novo vértice aos seus predecessores imediatos e ao primeiro vértice da parte. Para um leque triangular com seis pontos, as superfícies dos triângulos seriam definidas pelos pontos: (0, 1, 2), (0, 2, 3), (0, 3, 4), (0, 4, 5) (Figura 34).

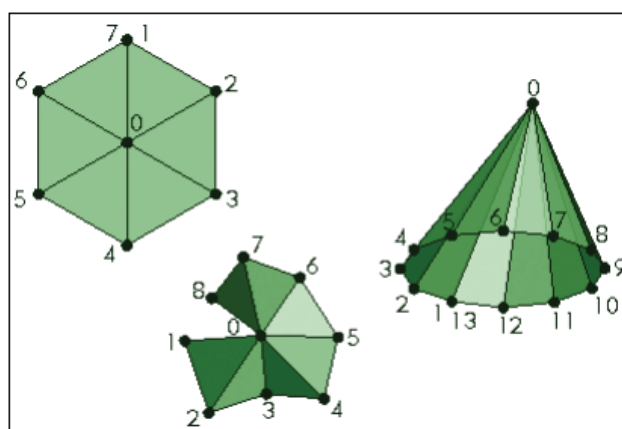


FIGURA 33 - LEQUE DE TRIÂNGULOS DA ESTRUTURA MULTIPATCH

FONTE: ESRI (2008)

Triângulos: É uma coleção de triângulos 3D, onde a cada 3 vértices é definido um novo triângulo. O tamanho dos conjuntos que contém os triângulos deve ser

múltiplos de 3. Para conjuntos triangulares com seis vértices, as superfícies triangulares são definidas pelos pontos: (0, 1, 2), (3, 4, 5) (Figura 34).

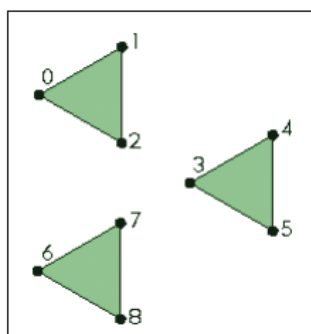


FIGURA 34 - CONJUNTO DE TRIÂNGULOS DA ESTRUTURA MULTIPATCH

FONTE: ESRI (2008)

**Anéis:** São elementos geométricos a partir dos quais polígonos são construídos, definidos por uma área delimitada por uma sequência fechada de segmentos conectados.

Todos os anéis têm a mesma estrutura, mas cada um tem um papel especial quando define uma superfície MultiPatch. Os anéis podem ser divididos em quatro grupos: Anéis (*Rings*), Primeiros Anéis (*First Rings*), Anéis Interiores (*Inner Rings*) e Anéis Exteriores (*Outer Rings*). O primeiro grupo (Anéis) define uma superfície de um tipo não especificado e somente pode ser seguido pelo Primeiros Anéis. O Primeiro anel é o primeiro em uma sequência de anéis que define uma superfície de um tipo não especificado e é usado quando o interior ou exterior de uma superfície é desconhecido. Os anéis interiores em uma sequência de anéis definem uma abertura na superfície em questão. Os anéis exteriores definem a superfície que contém aquela abertura (Figura 35).

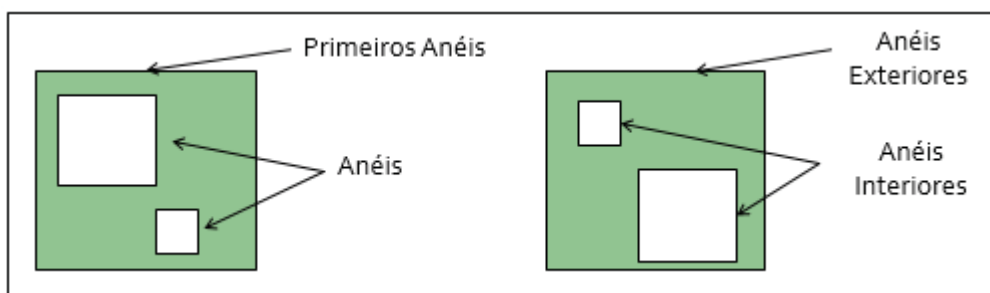


FIGURA 35 - ANÉIS NA ESTRUTURA MULTIPATCH

FONTE: ADAPTADO DE ESRI (1998)

## 7.2.4 Conversão para COLLADA

O próximo passo foi a exportação do arquivo Multipatch para o formato COLLADA. O COLLADA é um padrão aberto para descrever dados 3D. Originalmente esse padrão de dado pertencia a Sony (usado para o Playstation). O padrão COLLADA, sigla para *COLLABorative Desing Activity for establishing interchange format 3D interactions*, foca somente nos dados 3D, independentemente da arquitetura do contexto. Esse formato de dados proporciona a possibilidade para descrever a geometria, topologia e a textura, porém é falho na descrição semântica dos elementos.

O formato de arquivos COLLADA e KML, são geralmente mencionados juntos, pois são usados juntamente em softwares como o Google Earth, e o SketchUp. De acordo com Zlatanova, Stoter e Isikdag (2012), o Google usa esse formato frequentemente, sendo o núcleo dos objetos 3D no Google Earth e uma parte chave do desenvolvimento do SketchUp.

Assim que os dados foram exportados para o formato COLLADA, o que gera um arquivo com a extensão \*.dae, um arquivo no formato KML, foi gerado automaticamente (Figura 36). Os arquivos KML contém os modelos gráficos tridimensionais COLLADA, as coberturas de textura e outras informações gráficas.

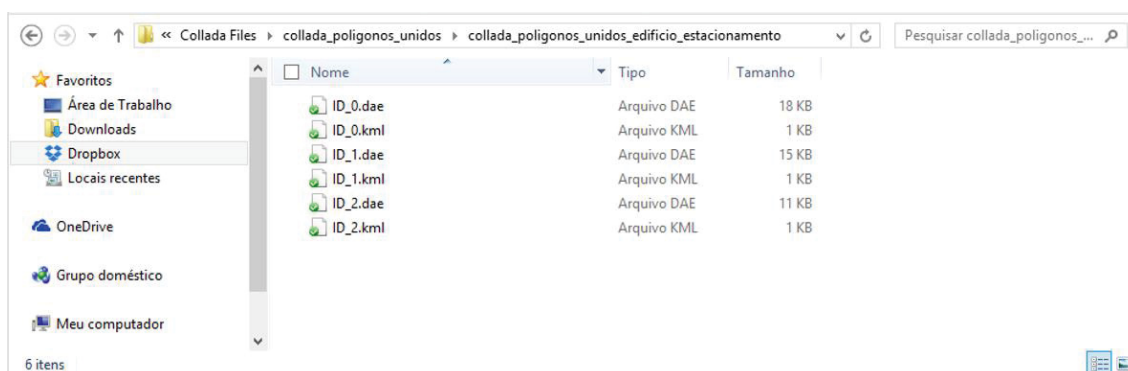


FIGURA 36 - ARQUIVOS GERADOS NO FORMATO COLLADA

FONTE: O AUTOR (2015)

### 7.2.5 Modelamento no SketchUP Criação do Modelo 3D com o SketchUP (B-rep)

Dando seguimento às atividades, após a geração do arquivo em formato COLLADA, no ambiente SIG, realizou-se a importação do modelo para o software de modelamento Trimble SketchUp 2015. A figura a seguir ilustra a interface gráfica do usuário nesse software, e o modelo importado do ArcGIS (Figura 37).

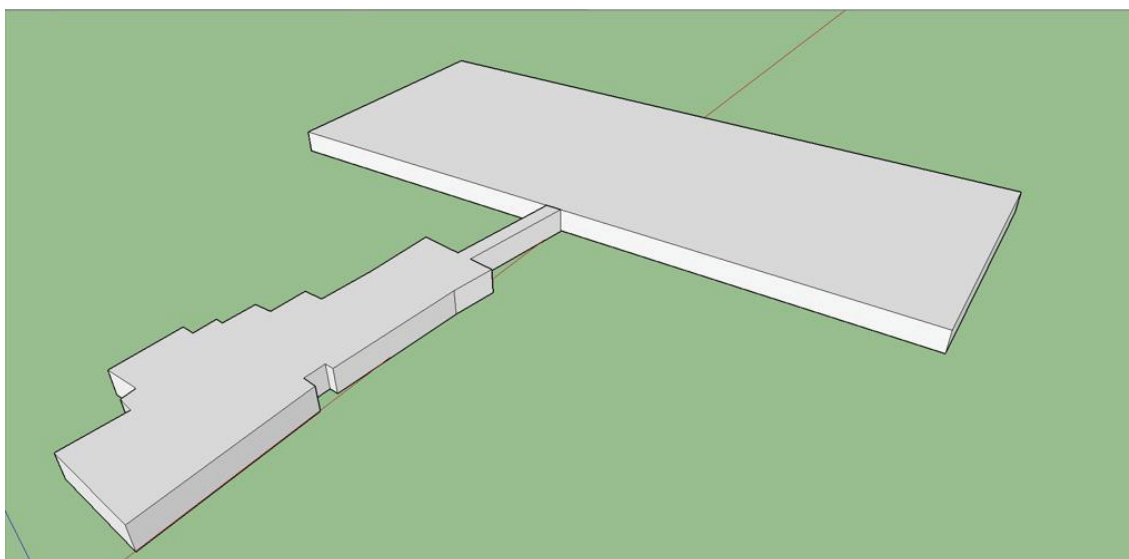


FIGURA 37 - MODELO IMPORTADO NO SKETCHUP

FONTE: O AUTOR 2015

Realizou-se a modelagem de dados considerando as primitivas gráficas 3D para a modelagem de objetos espaciais 3D, explanados anteriormente. Os prédios que contem a unidade de propriedade 3D, foram representados segundo as recomendações apresentadas por Arens, Stoter e van Oosterom (2005).

A modelagem foi realizada utilizando somente objetos que representem geometrias fechadas, ou seja, poliedros, cilindros e a combinação de ambas, objetivando apresentar uma proposta inicial de modelagem para o armazenamento de dados cadastrais 3D em um banco de dados espaciais, propiciando consultas topológicas.

A modelagem de dados foi realizada com um certo grau de aproximação das medidas reais das feições cadastrais. A única medida que foi possível se ter acesso foi a altura que a unidade de propriedade 3D se encontra do logradouro (8,50 m).



Medidas como altura dos prédios ou a altura dos andares foram simuladas para a continuidade das atividades. A Figura 37 ilustra o modelo após o fim da modelagem.

Para um melhor desenvolvimento das atividades a edição de cada um dos prédios e da unidade de propriedade 3D, que compõe a construção selecionada para o estudo de caso, foi realizada individualmente e assim que terminados as suas respectivas alterações, foram novamente integradas (Figura 38). As partes componentes do modelo foram nomeadas e modeladas com os seguintes nomes e medidas, apresentados na tabela a seguir (Tabela 1):

TABELA 1 - DIMENSÕES DO MODELO ADOTADAS NO SOFTWARE DE MODELAMENTO

<b>Dimensões</b> <b>Objetos</b>	<b>Altura (m) / Raio</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Volume (m<sup>3</sup>)</b>
Prédio Histórico	40,00	13458,98	538359,2
Edifício – Garagem	26,00	4413,69	4413,69
Unidade de Propriedade 3D (Cilíndrica)	3,00	355,643	365,590

FONTE: O AUTOR (2015)

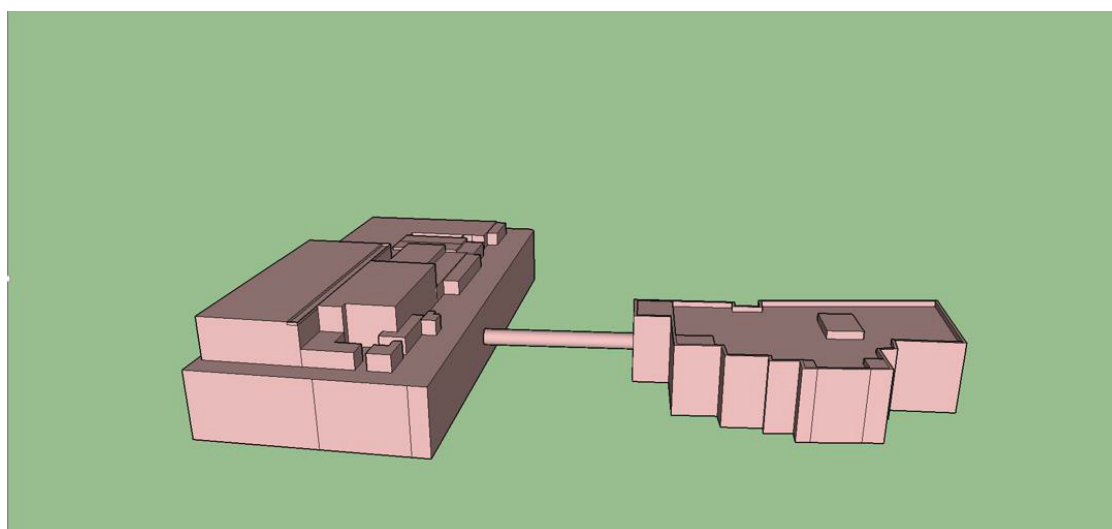


FIGURA 38 - MODELO EDITADO FINAL

FONTE: O AUTOR (2015)

Como foi colocado anteriormente, o modelo a representação por bordas, é o modelo adotado para representar as estruturas topológicas geométricas tridimensionais pelo SketchUp, e de acordo com Felus *et. al* (2014) essa representação é vantajosa por ser a abordagem utilizada em dados 2D, e principalmente por suportar bem as medidas e a representação de dados 3D. Para Zlatanova, Stoter e Isikdag (2012), a principal vantagem desse modelo reside no fato de representar os modelos conforme a percepção humana, por exemplo, o limite dos objetos podem ser obtidos medindo propriedades que são visíveis, por exemplo, as bordas.

#### 7.2.6 Exportação do Modelo e Substituição no ArcGIS

Assim que as edições são terminadas o modelo está pronto para a exportação de volta para o ArcScene. No ambiente SIG, o modelo é então carregado, com a função *Replace with model*, do menu 3D editor, e recolocado sobre o lugar daquele que foi exportado anteriormente.

O modelo final poderá ser armazenado em qualquer um dos bancos de dados disponíveis no software, *personal* ou *file geodatabase*, já existentes ou em um *personal* ou *file geodatabase* criado pelo usuário durante o procedimento de exportação para o ArcGIS. O ArcGIS trata as feições Multipatch de uma maneira análoga as feições armazenadas em arquivos *shapefile*. Em outras palavras, as feições 3D serão representadas por um único registro no *personal geodatabase* ou no *file geodatabase*, como pode ser observado na figura a seguir (Figura 39):

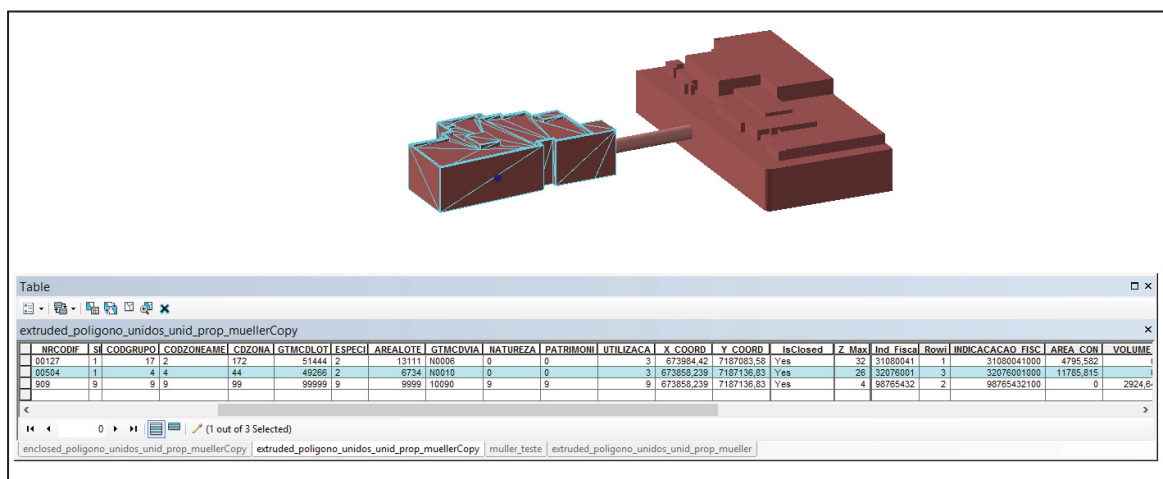


FIGURA 39 - MULTIPATCH ARMAZENADO COMO UM UNICO REGISTRO

FONTE: O AUTOR (2015)

## 8. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados os resultados, assim como algumas discussões acerca dos mesmos. Os resultados foram aqui divididos de acordo com os objetivos dessa pesquisa, ou seja, foram seccionados em duas partes. A primeira parte referente à modelagem em um banco de dados geográficos, e a segunda parte, referente à representação e análise da Unidades de Propriedade 3D utilizando sistemas de informações geográficas. Ao final do capítulo são apresentadas algumas discussões.

### 8.1 MODELAGEM BANCO DE DADOS GEOGRÁFICOS

Dada a definição dos objetos 3D que modelaram as unidades de propriedade 3D, no presente trabalho, o próximo passo foi a representação dos relacionamentos entre as tabelas de dados. A representação dos diferentes objetos 3D (unidades de propriedade 3D), se deu por meio da estrutura de dados baseadas em nós, a partir da qual se pode reconstruir tanto objetos no formato de poliedros ou cilindros, ou ainda a combinação entre os dois, para objetos de estruturas mais complexas.

O diagrama de classes (Figura 40) resultou em nove tabelas ou relações. Essas relações são utilizadas para representar os objetos 3D, que por sua vez representam as unidades de propriedade 3D, referentes às inúmeras interações que as parcelas tridimensionais podem sofrer por parte do homem.

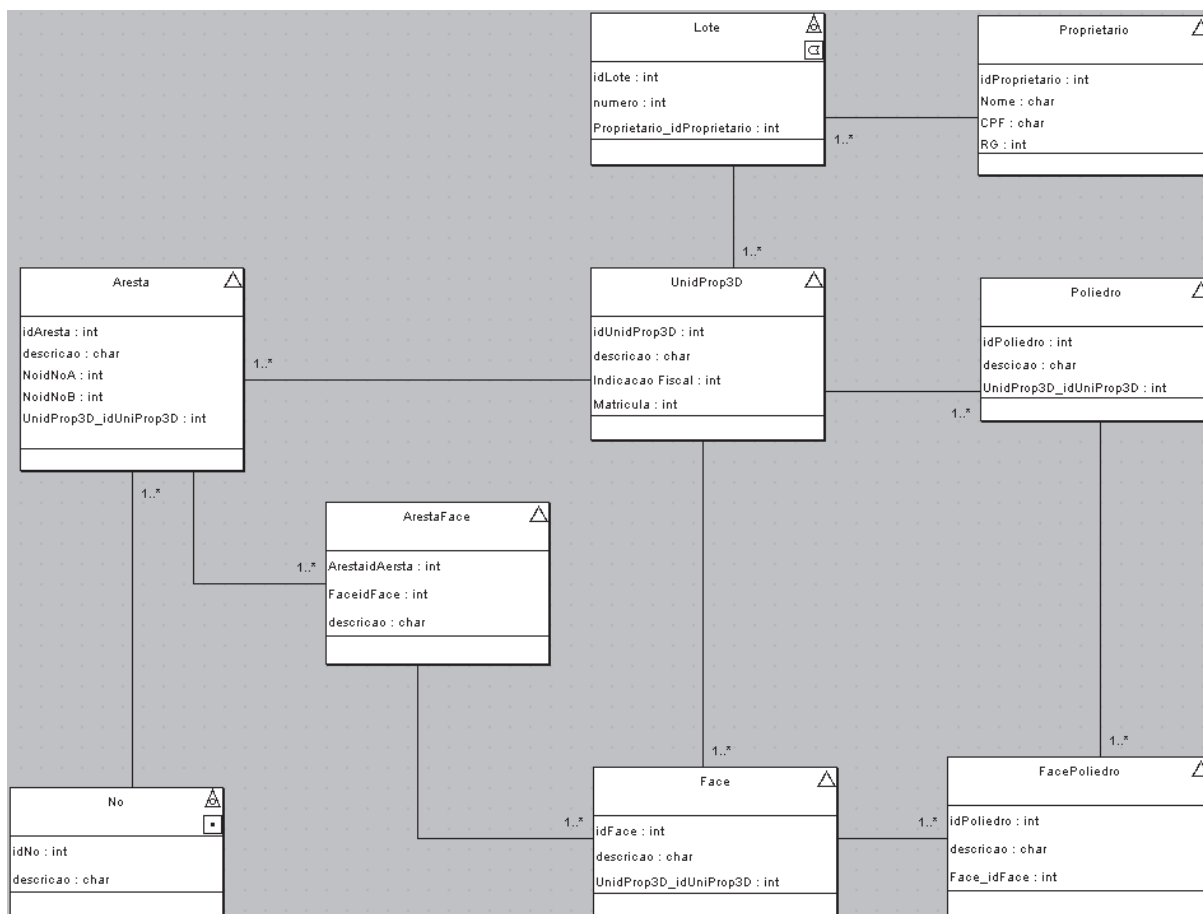


FIGURA 40 - DIAGRAMA PARA OS RELACIONAMENTOS ENTRE OS OBJETOS 3D E AS PRIMITIVAS

FONTE: O AUTOR (2015)

Nessa conjectura entende-se que a relação No é mais importante de todas, dado que é a partir dela, que se pode gerar todos os outros objetos. A tabela No apresenta todas as coordenadas de cada nó, o que faz com que seja possível a construção das demais coordenadas dos demais objetos como arestas, faces e poliedros e, por sua vez, as situações de unidade de propriedade 3D. O relacionamento de cardinalidade (um para muitos) entre a tabela No e a tabela Aresta, denota que um nó pode pertencer a uma ou mais arestas. Um nó é formado pelas coordenadas X, Y, e Z, como foi descrito na Figura 11, na tabela No. Conforme mencionado, já que um nó irá pertencer sempre a uma ou mais arestas, é mandatória a presença do código do nó (chave primária) como uma chave estrangeira na tabela Aresta.

As faces das unidades de propriedade 3D são formadas por, no mínimo três arestas e, não possuem um número máximo de arestas que a delimitem. Portanto, a

relação de cardinalidade que se dá entre as tabelas Aresta e Face é a de muitos para muitos, ou seja, uma aresta pode estar em muitas faces.

Cada uma das cardinalidades de muitos para muitos entre duas tabelas, representados nesse caso pelas tabelas Aresta e Face, resultam em uma nova tabela, no caso nominada de *ArestaFace*.

No caso dos poliedros, que representam as situações de unidade de propriedade 3D, os mesmos são formados por um conjunto de faces um mínimo de quatro faces (no caso de um tetraedro), porém, não possuem um número máximo de faces. Esses poliedros são descritos por conjuntos de faces, que por sua vez são formadas por conjuntos de arestas, as quais, são formadas por conjunto de pontos (nós). Dentre essas primitivas, as únicas que possuem informações espaciais, são os pontos ou nós, o que acarreta em uma consulta mais simples, no âmbito do computador.

É interessante destacar que na modelagem proposta desenvolvida, o foco principal foram os limites dos objetos 3D, respeitando a definição de Unidade de Propriedade 3D, como sendo uma quantidade de espaço delimitada ao qual uma pessoa é intitulada por meio de direitos reais. Outras tabelas são utilizadas para acrescentar informações ao cadastro, como por exemplo, dados referentes ao lote e ao proprietário, interligando os dados geométricos e alfanuméricos.

## 8.2 ESTUDO DE CASO – UNIDADE DE PROPRIEDADE 3D PASSARELA SUSPENSA

Um modelo tridimensional pode ser uma fonte vasta de informações simplesmente ao se observá-lo. Essa análise visual além de fornecer ao usuário uma ideia de como a redondeza de uma área de interesse se comporta, também pode revelar relacionamentos entre os objetos que ali se encontram.

A visualização das informações bidimensionais juntamente com as informações tridimensionais pode ser um poderoso método para a obtenção de informações e a tomada de decisões (Figura 41).



FIGURA 41 - MODELO 3D NO ARCSCEM COM FEIÇÕES BIDIMENSIONAIS

FONTE: O AUTOR (2015)

Uma possibilidade para se aumentar as informações a serem analisadas e contribuindo para melhores resultados, é a junção ou o relacionamento de tabelas, contendo informações não espaciais, as informações tridimensionais já existentes. O ArcGIS executa esse tipo de operação sem maiores problemas em feições 3D como as feições MultiPatch, dado que o software trata esse tipo de informação similarmente as feições armazenadas em *shapefile*, ou seja, em único registro na tabela de atributos. Por exemplo, a Figura 42 ilustra como as feições ou informações sobre atributos podem ser adicionadas, removidas ou editadas das tabelas de atributos. Para esse caso serão adicionadas informações sobre a coluna tipo de propriedade destacada em ciano. Esta tabela, pode então ser relacionadas com as feições cadastrais por meio de sua tabela de atributos. As feições consideradas cadastrais nesse exemplo, são aquelas contendo informações descritivas tais como área da construção, volume, área projetada, distância vertical do logradouro, lote e altura. O relacionamento de tabelas, permite ao usuário perguntar questões como: Quais são os tipos de propriedades classificados como unidade de propriedade 3D. Usando o comando SQL para fazer a consulta, essa resposta pode ser obtida através da seguinte expressão:



SELECT \* FROM cad\_registro WHERE:"TIPO\_PROPRIEDADE" = 'Unidade de Propriedade 3D'

A feição que se enquadra nesse tipo de propriedade será selecionada como mostra a figura a seguir (Figura 43).

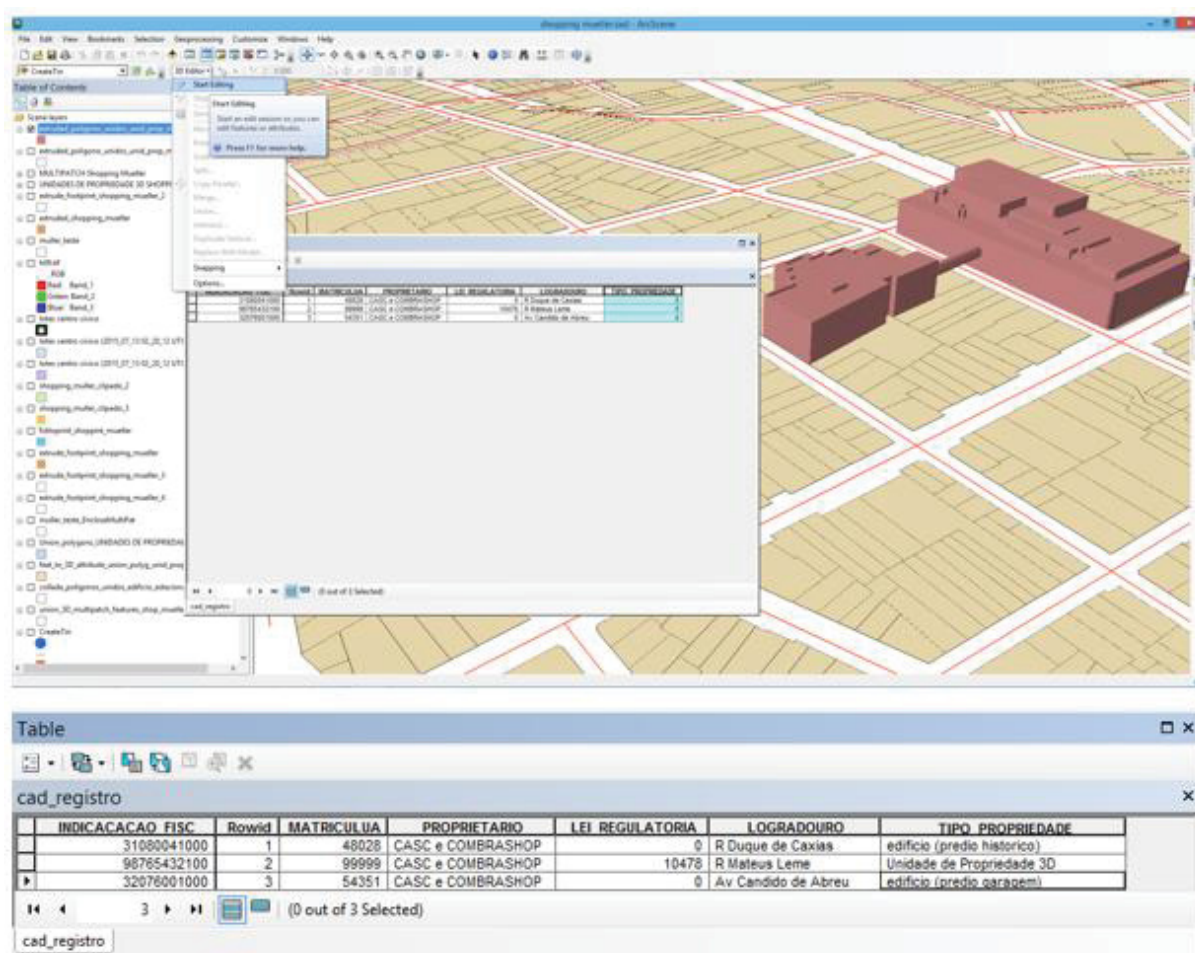


FIGURA 42 - INSERÇÃO DE INFORMAÇÕES NA TABELA DE ATRIBUTOS

FONTE: O AUTOR (2015)



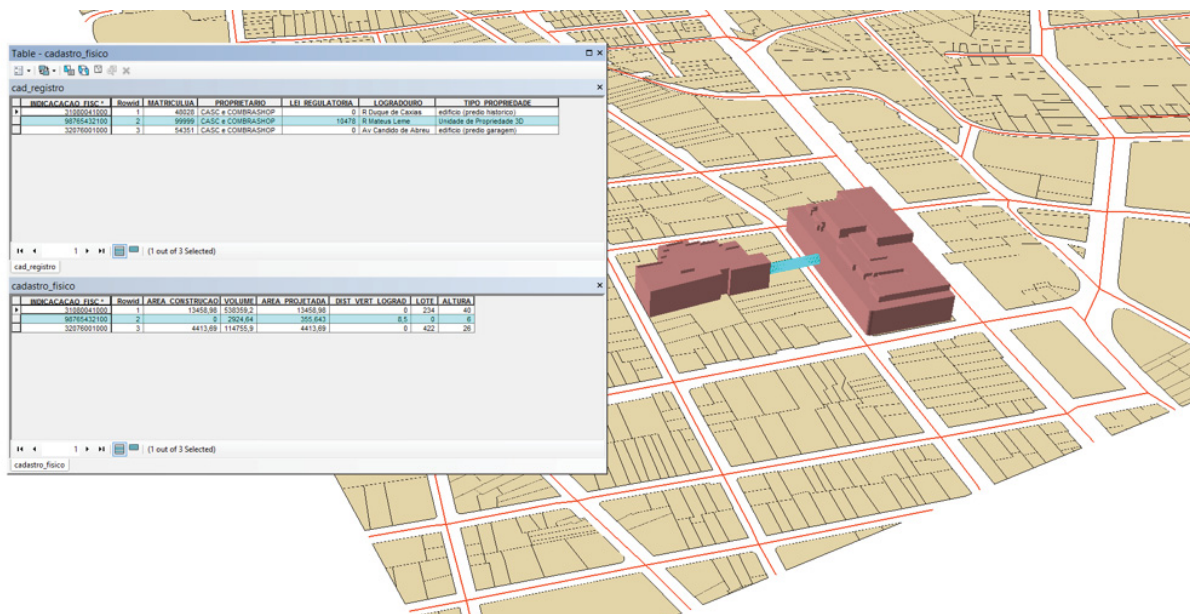


FIGURA 43 - TABELA RELACIONADA COM FEIÇÃO NO MODELO

FONTE: O AUTOR (2015)

Uma abordagem mais amigável ao usuário para se realizar pesquisas simples no ArcScene é através da caixa de diálogo da ferramenta *Select by Attribute*. Nesse caso, a consulta SQL realizada foi: Selecionar todos os prédios que tenham a distância vertical ao logradouro iguais a zero (Figura 44).

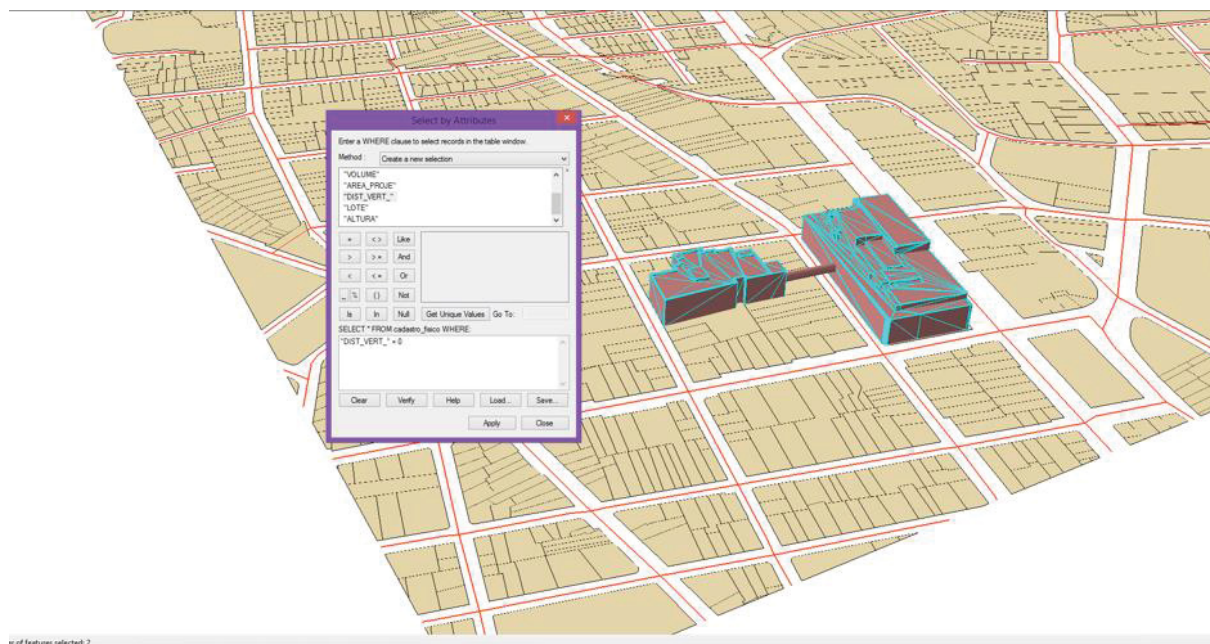


FIGURA 44 - CONSULTA SQL UTILIZANDO O SELECT BY ATTRIBUTE

FONTE: O AUTOR (2015)

### 8.3 DISCUSSÕES

Uma das dificuldades em se desenvolver sistemas de informações territoriais totalmente tridimensional é justamente encontrar um método apropriado para representar os complexos objetos 3D. Essa pesquisa mostrou alguns dos diversos métodos encontrados na literatura para a representação de objetos tridimensionais, ou ainda, para as unidades de propriedade 3D, em cada um possui suas vantagens e desvantagens. Um trabalho nessa área, que recebeu bastante atenção, foi a implementação das primitivas 3D para modelagem de objetos espaciais 3D em Oracle denotada em Arens (2003) e Arens *et. Al.* (2005). Uma vantagem dessa metodologia é que as primitivas são representadas pelas suas feições padrões tipos polígonos, possibilitando, assim, que diferentes softwares implementem as feições 3D. Entretanto, um contraponto, é que para representar essas feições 3D, seriam necessárias muitas feições bidimensionais. Porém, isso pode ser feito usando tabelas interligadas ou pela abordagem multi-polígono. A abordagem considerando as tabelas interligadas é um procedimento extremamente enfadonho quando se trata da inserção de dados. Por exemplo, é necessária a inserção de tabelas separadas para os vértices, arestas e faces. A abordagem multi-polígono, também possui suas desvantagens e algumas limitações, por exemplo, os ambientes do ArcGIS dão um suporte limitado a dimensão z, pois usam somente superfícies bidimensionais como tipos de dados, como discutido na seção referente a dimensão 2,5D. A utilização da estrutura Multipatch supera esses dois pontos fracos, citados anteriormente.

A maior vantagem dessa estrutura desenvolvida pela ESRI, é que as mesmas podem descrever objetos complexos 3D, além de permitirem texturas, funcionar interativamente com informações geográficas bidimensionais e armazenarem feições 3D como registros únicos dentro do banco de dados, como pode ser visto no caso de estudo aplicado anteriormente.

O armazenamento das estruturas Multipatch em registros únicos, facilita a relação de tabelas, contendo informações não espaciais, com essas feições 3D componentes do modelo.

A desvantagem desse tipo de estrutura, reside no fato das mesmas não poderem ser criadas ou editadas dentro dos ambientes da ESRI. A inserção de dados ou edição são, portanto, limitadas por softwares de terceiros, como por exemplo, o

usado nessa pesquisa, SketchUp. Outro ponto que pode ser apontado como desvantagem, é que a estrutura Multipatch não suporta outras primitivas além dos pontos, linhas e polígonos. Isto significa que outras primitivas mais complexas como polilinhas, cones e cilindros podem ser representadas somente por uma série de linhas e polígonos, o que acarreta uma perda na qualidade geométrica dessas formas. Um outro contraponto é que as representações utilizando estruturas MultiPatch requerem uma grande quantidade de espaço para armazenamento no disco rígido, entretanto, essa desvantagem pode ser vista como pequena em relação as outras, já que cada vez mais os computadores estão aumentando o seu poder de processamento, assim como seu espaço para armazenamento em disco.

## 9. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Esta pesquisa revisou algumas abordagens para representações 3D em Sistemas de Informações Geográficas para aplicação cadastral. A situação atual dos sistemas de informações geográficas 3D é que o maior foco está na visualização 3D e não na funcionalidade tridimensional.

Da literatura pesquisada foram selecionadas três abordagens para a representação de modelos tridimensionais: Representação por Bordas (*Boundary Representation*), Geometria Construtiva Sólida (*Constructive Solid Geometry*) e Representação por varredura (*Sweep Representation*). Os três modelos possuem vantagens e desvantagens, entretanto o modelo de Representação por Bordas é a abordagem mais difundida para a representação 3D dentro do campo de aplicações cadastrais, seguida pela abordagem da Geometria Construtiva Sólida. Podemos concluir que um dos fatores que colabora para essa preferência de um sobre o outro é fato do modelo de representação por bordas ser mais aceito dentro dos sistemas de informações geográficas e o modelo de geometria construtiva sólida ser mais aceito em sistemas CAD. O fato de ambos os modelos serem aceitos em sistemas diferentes não é crucial para afirmação de que uma abordagem é superior a outra.

Uma integração entres os sistemas CAD e SIG que interconectasse plenamente esses dois mundos, faria com que os dados 3D fossem realmente usados e aproveitados em todo seu potencial. Um sistema não pode substituir o outro completamente, porém, certamente que ambos se beneficiariam se pudessem se comunicar entre si sem maiores perdas de dados.

Após o estudo da literatura conclui-se que a estrutura Multipatch é interessante, pois utiliza a abordagem b-rep, e por sua vez, se beneficia das vantagens atreladas a essa abordagem. Foi concluído também, que o processo de inserção de dados e de importação/ exportação para o SketchUp é eficiente e ocorre sem maiores problemas, se seguido a metodologia proposta em capítulos anteriores.

Com a utilização da metodologia proposta, ficou evidenciado que objetos complexos tridimensionais podem ser visualizados e analisados em softwares como o ArcGIS. Nesse caso o procedimento é possível devido a interoperabilidade entre ambos os softwares ArcGIS e SketchUp. Isso se torna viável devido ao formato de dados COLLADA, que é um formato específico para dados tridimensionais.

Além da facilidade em se exportar/importar dados entre os softwares SketchUp e ArcGIS, também foi possível analisar feições tridimensionais com a utilização de comando SQL, além de ser possível a coexistências interativa das feições bi e tridimensionais, como por exemplo, pontos, linhas, polígonos e estruturas Multipatch dentro do mesmo ambiente 3D. Entretanto, ainda faltam algumas análises espaciais mais avançadas, como por exemplo, overlay e operações topológicas.

Informações geográficas armazenadas em estruturas Multipatch podem ser facilmente acessadas em suas tabelas de atributos e informações não espaciais podem ser interligadas a esses objetos tridimensionais (Unidade de Propriedade 3D) para enriquecer a extração de informações. A principal vantagem de se usar estruturas MultiPatch, é que elas estão amplamente implementadas e em uso em sistemas de informações geográficas comerciais. O uso do Multipatch não é a solução, tecnicamente, completa para objetos tridimensionais complexos, porém está se encaminhando para isso. O estudo de caso mostrou que é possível representar e, a um certo grau, analisar objetos 3D usando a estrutura Multipatch.

## 9.1 RECOMENDAÇÕES

As recomendações para pesquisas futuras englobam os seguintes tópicos:

- Método apropriado para representação de objetos 3D. Apesar de, atualmente o foco das representações em 3D utilizarem a representação por bordas, a abordagem por geometria construtiva sólida tem suas vantagens que a fazem atraentes para representações em 3D;
- Pesquisas para desenvolver mais funções de análise espacial em ambientes sistemas de informações territoriais com suporte a dados tridimensionais, logo SIG 3D

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALHIR, S. S. Understanding the unified modeling language (uml). **Methods and Tools**, 1999.

AMORIM, A.; DE SOUZA, G. H. B.; YAMASHITA, M. C. CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO VIA INTERNET: um importante instrumento de apoio ao planejamento municipal. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 60, n. 2, 2009.

ARENS. **Maintaining reality: modelling 3D spatial objects in a Geo-DBMS using a 3D primitive**. 2003. 76 p. Master thesis. GIS technology, TU Delft, Delft University of Technology, The Netherlands.

ARENS, C.; STOTER, J.; VAN OOSTEROM, P. Modelling 3D spatial objects in a geo-DBMS using a 3D primitive. **Computers & Geosciences**, v. 31, n. 2, p. 165-177, 2005.

BILLEN, R.; ZLATANOVA, S. 3D spatial relationships model: a useful concept for 3D cadastre? **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 27, n. 4, p. 411-425, 2003.

BRASIL. **Portaria Nº 511, de 8 de dezembro de 2009. Diretrizes para a criação, instituição e atualização do Cadastro Territorial Multifinalitário (CTM) nos municípios brasileiros**. CIDADES, M. D.: p. 75 p. 2009.

BRENNER, C. Modelling 3D objects using weak CSG primitives. **International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. 35, p. 1085-1090, 2004.

BRUGMAN, B. **3D topological structure management within a DBMS, validating a topological volume**. 2010. Dissertação (Master of Geosciences). Faculty of Geosciences, Utrecht University, Utrecht.

CARNEIRO, A. F. T.; ERBA, D. A.; AUGUSTO, E. A. A. Cadastro Multifinalitário 3D: Conceitos e Perspectivas de implantação no Brasil. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 64, p. 257 - 271, 2012.

CHONG, S. **Registration of Wayleave (cable and pipeline) into the Dutch cadastre, Case study report**. Delft University of Technology, the Netherlands. 2006.

CLEMENTINI, E.; DI FELICE, P.; VAN OOSTEROM, P. A small set of formal topological relationships suitable for end-user interaction. *Advances in Spatial Databases*, 1993. Springer. p.277-295.

COORS, V. 3D-GIS in networking environments. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 27, n. 4, p. 345-357, 2003.



DALE, P. F.; MCLAUGHLIN, J. D. **Land information management. An introduction with special reference to cadastral problems in developing countries.** Clarendon Press, 1988. ISBN 0198584059.

DAMAS, L. **SQL-Structured Query Language.** 6 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

DATE, C. Banco de Dados: Introdução a Sistemas de Banco de Dados. **Tradução da 8ª ed. Rio de Janeiro: Campus,** 2008.

DAVIS JR, C. A.; QUEIROZ, G. R. D. Algoritmos geométricos e relacionamentos topológicos. In: (Ed.). **Banco de Dados Geográficos.** Curitiba, Paraná, Brasil: MundoGEO, 2005. p. 213-232.

DE LA LOSA, A.; CERVELLE, B. 3D Topological modeling and visualisation for 3D GIS. **Computers & Graphics**, v. 23, n. 4, p. 469-478, 1999.

DOGAN, R.; DOGAN, S.; ALTAN, M. 3D visualization and query tool for 3D city models. Proceeding of XXth ISPRS Congress, 2004.

EGENHOFER, M. J. A formal definition of binary topological relationships. In: (Ed.). **Foundations of data organization and algorithms:** Springer, 1989. p.457-472. ISBN 3540512950.

EKBERG, F. An approach for representing complex 3D objects in GIS applied to 3D properties. 2007.

ELLUL, C.; HAKLAY, M. M. Using a B-rep structure to query 9-intersection topological relationships in 3D GIS—reviewing the approach and improving performance. In: (Ed.). **3D geo-information sciences.** Berlin: Springer, 2009. p.127-151.

ELMASRI, R. E.; NAVATHE, S. B. Sistemas de banco de dados. **Sham, Addison,** 2005.

ESRI. ESRI Shapefile Technical Description: An ESRI White Paper—July 1998. 1998. Disponível em: < [www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/multipatch-geometry-type.pdf](http://www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/multipatch-geometry-type.pdf) >. Acesso em: 08/05/2015.

\_\_\_\_\_. The Multipatch Geometry Type: An ESRI White Paper. 2008. Disponível em: < [www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/multipatch-geometry-type.pdf](http://www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/multipatch-geometry-type.pdf) >. Acesso em: 08/05/2015.

FELUS, Y. et al. Steps towards 3D cadastre and ISO 19152 (LADM) in Israel. Proceedings 4th International Workshop on 3D Cadastres, 9-11 November 2014, Dubai, United Arab Emirates, 2014. International Federation of Surveyors (FIG).

FOLEY, J. D. et al. Computer graphics: Principles and Practice. p. 689–693, 1990.

FORD, A. The visualisation of integrated 3D petroleum datasets in ArcGIS. Proceedings of 24th ESRI user conference, 2004. Citeaser. p.1-11.

FRANCO, G. F.; LEME, F. A. D. **Resumo do capítulo 5 SQL: Consultas, Restrições e Gatilhos**: Universidade de Campinas - UNICAMP: 20 f p. 2005.

GELINSKI, G. Uma passarela hi-tech sobre Curitiba. **Finestra**, n. 33, p. 90, 2003. Disponível em: < <http://arcoweb.com.br/finestra/arquitetura/adolfo-sakaguti-passarela-shopping-mueller-01-07-2003>. > < Acesso em: 29/05/2015 >.

HASSAN, M. et al. An integrated 3D cadastre—Malaysia as an example. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. 37, n. B4, p. 121-26, 2008.

HELD, G.; RAHMAN, A.; ZLATANOVA, S. Web 3D GIS for urban environments. Proceedings of the international symposium and exhibition on geoinformation, 2004. p.21-23.

HOLZSCHUH, M.; AMORIM, A.; SOUZA, G. B. Cadastro 3D e Banco de Dados espaciais: Estudo de caso representando Parcelas espaciais no Brasil. COBRAC 2010 - Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário, 2010. Florianópolis. 10 a 14 de Outubro.

ISO. **ISO 19152:2012**. Geographic information -- Land Administration Domain Model (LADM) 2012.

JARROUSH, J.; EVEN-TZUR, G. Constructive solid geometry as the basis of 3D future cadastre. **FIG working Week, Athens, Greece**, 2004.

KAUFMANN, J.; STEUDLER, D. **Cadastro 2014: A vision for a future cadastral system**. J. Kaufmann, D. Steudler, 1998.

KITSAKIS, D.; DIMOPOULOU, E. 3D cadastres: legal approaches and necessary reforms. **Survey Review**, v. 46, n. 338, p. 322-332, 2014.

KRAAK, M.-J.; VERBREE, E. Tetrahedrons and animated maps in 2d and 3d space. **Bresnahan et al.[BCC92]**, p. 63-71, 1992.

KRUCHELSKI, E. **Cadastro Técnico na Prefeitura Municipal de Curitiba – aonde vai?** 2011. 33p Trabalho de conclusão do curso de pós-graduação Especialização em Gestão de Cidades, Faculdades SPEI em convênio com ABC in Company, Curitiba.

KURATA, Y. From three-dimensional topological relations to contact relations. In: (Ed.). **Developments in 3D Geo-Information Sciences**: Springer, 2010. p.123-142. ISBN 3642047904.



LARSSON, G. **Land registration and cadastral systems**. England, UK: Longman Group 1996.

LEMMEN, C.; VAN OOSTEROM, P. 3D Cadastres. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 27, n. 4, p. 337-343, 2003.

LEWINER, T. Primitivas de desenho CSG. 2015.

LISBOA FILHO, J.; JÚNIOR RODRIGUES, M.; DALTIO, J. ArgoCASEGEO—uma ferramenta CASE de código-aberto para modelo UML-GeoFrame. **Viçosa: UFV/DPI**, 2004.

LOCH, C.; ERBA, D. A. Cadastro técnico multifinalitário rural e urbano. **Cambridge, MA: Lincoln Institute of Land Policy**, p. 104-112, 2007.

LONGLEY, P. A. et al. **Geographic Information Systems and Science**. Wiley Publishing, 2010. 560 ISBN 0470721448, 9780470721445.

MOLINA, M. G. A. **Catastro, propiedad y prosperidad**. Jaén: Universidade de Jaén, Servicio de Publicaciones, 2010. ISBN 8484393402.

NICHOLS, S. **Land Registration: Managing Information for Land Administration**. 1993. Depat. of Geodesy and Geomatics Engineering, University of New Brunswick, New Brunswick, Canada.

NUNES, E. O. Modelagem Geométrica e Sweeping. 2010. Disponível em: < <http://www2.ic.uff.br/~aconci/sweeping.html> >. Acesso em: 21/09/2015.

PAASCH, J.; PAULSSON, J. Terminological Aspects on Three-dimensional Real Property. **Nordic journal of surveying and real estate research**, v. 8, n. 1, 2012.

PAULSSON, J. 3D property rights: an analysis of key factors based on international experience. 2007.

PILOUK, M. **Integrated modelling for 3D GIS**. 1996. 200 p. Doctoral thesis (Doctor Agricultural and Environmental Sciences ). Laboratory of Geo-information Science and Remote Sensing, International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC) and Wageningen Agricultural University,, Eschede, The Netherlands.

PU, S.; ZLATANOVA, S. Integration of GIS and CAD at DBMS level. Proceedings of UDMS, 2006. p.9.61-9.71.

RAHMAN, A. A.; PILOUK, M.; ZLATANOVA, S. The 3D GIS Software Development: global efforts from researchers and vendors. **Geoinformation Science Journal**, v. 1, n. 13, 2001.

SAMPAIO, G. B. **GeoProfile – Um perfil UML para modelagem conceitual de banco de dados geográficos**. 2009. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Viçosa

SANDBERG, H. Three-Dimensional Partition and Registration of Subsurface Land Space. **Isr. L. Rev.**, v. 37, p. 119, 2003.

SANTOS, J. C. D.; DE FARIAS, E. S.; CARNEIRO, A. F. T. Análise da parcela como unidade territorial do cadastro urbano brasileiro. **Bol. Ciênc. Geod., sec. Artigos**, v. 19, n. 4, p. 574-587, 2013.

SHAPIRO, V. Solid modeling. **Handbook of computer aided geometric design**, v. 20, p. 473-518, 2002.

SHOSHANI, U. et al. Registration of cadastral spatial rights in israel—a research and development project. **Proceedings of FIG working week, Athens, Greece, May**, 2004.

SILBERSCHATZ, A. et al. **Sistema de banco de dados**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006. ISBN 8535211071.

STOTER. **3D Cadastre**. 2004. 344 f. Tese PhD thesis (Doutorado em Geografia Física). Delft University of Technology, Delft, the Netherlands.

STOTER; PLOEGER, H. D. Property in 3D - registration of multiple use of space: current practice in Holland and the need for a 3D cadastre. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 27, n. 6, p. 553-570, 2003.

STOTER, J.; VAN OOSTEROM, P. Incorporating 3D geo-objects into an existing 2D geo-database: an efficient use of geo-data. Proceedings Geoinformatics and DMGIS'2001, the 3rd ISPRS Workshop on Dynamic & Multi-dimensional GIS, the 10th annual conference of CPGIS on Geoinformatics, Bangkok, May 23-25 2001, 2001.

STOTER, J. E.; VAN OOSTEROM, P. Technological aspects of a full 3D cadastral registration. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 19, n. 6, p. 669-696, 2005.

STOTER, J. E.; VAN OOSTEROM, P. **3D cadastre in an international context: legal, organizational, and technological aspects**. New York: Crc Press, 2010. ISBN 1420005677.

STOTER, J. E. et al. Conceptual 3D Cadastral Model Applied in Several Countries. FIG Working Week 2004, 2004. Athens, Greece. 22 –27 de Maio.

STOTER, J. E.; ZLATANOVA, S. Visualisation and editing of 3D objects organised in a DBMS. EUROSDBR workshop'Rendering and Visualisation', Enschede, January, 2003, 2003.

TOBIÁŠ, P. An Investigation into the Possibilities of BIM and GIS Cooperation and Utilization of GIS in the BIM Process. **Geoinformatics FCE CTU**, v. 14, n. 1, p. 65-78, 2015.

VALSTAD, T. The Oslo Method: a practical approach to register 3D properties. **FIG Working Week, Paris, France**, 2003.

\_\_\_\_\_. 3D cadastres in Europe. Cadastral Infrastructure, 2005. Bogotá, Colômbia. 22-24 de Novembro.

VAN OOSTEROM, P. et al. The core cadastral domain model. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 30, n. 5, p. 627-660, 2006.

VAN OOSTEROM, P.; PLOEGER, H.; STOTER, J. Analysis of 3D Property Situations in the USA. Proceedings FIG Working Week and GSDI-8 "From Pharaohs to Geoinformatics", 2005. Cairo, Egypt. 16-21 April 2005.

VAN OOSTEROM, P. et al. The balance between geometry and topology. In: (Ed.). **Advances in Spatial Data Handling**: Springer, 2002. p.209-224. ISBN 3642628591.

ZEID, I. **CAD/CAM theory and practice**. Nova York, United States: McGraw-Hill Higher Education, 1991. 576 p.

ZLATANOVA, S. On 3D topological relationships. Database and Expert Systems Applications, 2000. Proceedings. 11th International Workshop On, 2000. IEEE. p.913-919.

ZLATANOVA, S.; RAHMAN, A. A.; SHI, W. Topology for 3D spatial objects. International Symposium and Exhibition on Geoinformation, 2002. Citeseer. p.22-24.

\_\_\_\_\_. Topological models and frameworks for 3D spatial objects. **Computers & Geosciences**, v. 30, n. 4, p. 419-428, 2004.

ZLATANOVA, S.; STOTER, J.; ISIKDAG, U. Standards for exchange and storage of 3D information: Challenges and opportunities for emergency response. Proceedings of the 4th International Conference on Cartography & GIS, Volume 2, Albena, June 2012, pp. 17-28, 2012. International Cartographic Association.

**ANEXO A - LEI Nº 10478 DE 18 DE JUNHO DE 2002**

A CÂMARA MUNICIPAL DE CURITIBA, CAPITAL DO ESTADO DO PARANÁ, aprovou e eu, Prefeito Municipal, sanciono a seguinte lei:

**Art. 1º** - Nos termos do art. 3º, da Lei nº 8.354, de 22 de dezembro de 1.993, fica o Poder Executivo autorizado a outorgar concessão de direito real de uso de espaço aéreo às Empresas COMBRASHOP - COMPANHIA BRASILEIRA DE SHOPPING CENTERS S/A e CASC - ADMINISTRADORA DE SHOPPING CENTERS S/A., para construção de passagem suspensa, para uso exclusivo de pedestres, sobre o nível da Rua Mateus Leme, interligando a edificação existente sobre o imóvel de Indicação Fiscal nº. 32-076-001.000 e a que será construída sobre o imóvel de Indicação Fiscal nº. 31-080-041.000, ambos de propriedade exclusiva das concessionárias.

§ 1º - A concessão de uso prevista no "caput" deste artigo será outorgada com dispensa de licitação, mediante contrato sob condições suspensiva e resolutiva.

§ 2º - O prazo da concessão de uso previsto no "caput" deste artigo, terá seu termo final em 30 (trinta) anos, contado da data da publicação desta lei.

§ 3º - O prazo da concessão poderá ser prorrogado por acordo entre as partes que será reduzido a termo dentro do prazo de 90 (noventa) dias antes do termo final.

§ 4º - A parte que não tiver interesse na prorrogação do prazo fixado no "caput" deste artigo, promoverá a notificação dessa decisão, à outra parte, no prazo máximo de 90 (noventa) dias antes do termo final.

**Art. 2º** - Compete à Urbanização de Curitiba S/A - URBS lavrar o Contrato de Concessão de Uso, do qual, entre outras condições, constará:

**I** - a identificação das concessionárias responsáveis pelo cumprimento das normas relacionadas com a concessão de direito real de uso, inclusive o pagamento do preço correspondente;

**II** - a especificação dos espaços públicos a serem utilizados;

**III** - a especificação da finalidade da utilização pelas concessionárias e das obras e serviços a serem executados, conforme projetos estrutural e arquitetônico, devidamente aprovados;

**IV** - a fixação de prazo para execução das obras e serviços referidos no inciso III, deste artigo, a ser definido pela URBS, conforme cronograma apresentado pelas concessionárias;

**V** - o valor do preço da concessão de uso;

**VI** - o compromisso das concessionárias de observarem integralmente o regime da concessão de direito real de uso estabelecido pela Lei nº. 8.354, de 22 de dezembro de 1993.

**Art. 3º** - A passagem suspensa mencionada no art. 1º, deverá ser fiel aos projetos estrutural e arquitetônico.

**Parágrafo Único** - A altura livre da passagem suspensa será de 8,97m (oito metros e noventa e sete centímetros) acima do nível do passeio até ao ponto inferior da passagem suspensa.

**Art. 4º** - No prazo de 30 (trinta) dias contados da publicação desta lei, as concessionárias recolherão aos cofres da URBS, a título de contraprestação o valor resultante da fórmula  $AP \times VM$ , onde:

**I** -  $AP$  = a área em projeção da estrutura; e

**II** -  $VM$  = valor de mercado do metro quadrado estabelecido para os imóveis localizados na mesma zona urbana onde a passagem suspensa será implantada

**Art. 5º** - Esta lei entra em vigor na data de sua publicação.

PALÁCIO 29 DE MARÇO, em 18 de junho de 2002.

CASSIO TANIGUCHI

Prefeito Municipal